UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

WAGNER DIOGENES VIEIRA LACERDA

A LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA NA ANÁLISE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS

Santos – SP
2015

WAGNER DIOGENES VIEIRA LACERDA

A LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA NA ANÁLISE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. Maurício Conceição Mário.

Santos – SP

2015

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Lacerda, Wagner Diogenes Vieira.

A Lógica Paraconsistente Anotada na análise dimensional de carrocerias automotivas / W. D. V. Lacerda. - 2015
89p.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Conceição Mário

Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015

1. Especificações. 2. Estatística. 3. Exatidão. 4. Precisão. 5. Rede de Análise Paraconsistente.

I. Mario, Maurício Conceição

II. Título: A Lógica Paraconsistente Anotada na análise dimensional de carrocerias automotivas

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

Dedico este trabalho à Júlia, Beatriz e Joyce, minhas filhas e esposa, com muito amor e gratidão por sua compreensão, carinho, paciência e total apoio ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Profº. Dr. Maurício Conceição Mário pelo incentivo, orientações e paciência.

Ao Profº. Dr. João Inácio da Silva Filho pelo ensinamento e contribuições relacionadas à Lógica Paraconsistente.

À Profª. Me. Dorotéa Villanova Garcia pelas preciosas observações no exame de qualificação desta dissertação.

À secretaria de Mestrado, especialmente a Sandra e a Imaculada, pela prestatividade, dedicação, sorriso no rosto e pronto atendimento.

À Hyundai Motors Brasil por propiciar um ambiente voltado ao desenvolvimento de competências das pessoas, e pela oportunidade de utilizar os recursos necessários para execução desta proposta.

À minha família pelo total apoio.

RESUMO

A competitividade da indústria automobilística remete a qualidade como meta estratégica para redução de custos e conquista de mercados. Assegurar que as características geométricas da carroceria automotiva se mantenham dentro de padrões e especificações ajudam a prevenção e solução de problemas. A eficácia das análises e a priorização das ações são relevantes neste contexto. Este trabalho baseia-se na criação de uma ferramenta computacional de análise dimensional, que através das Redes de Análises Paraconsistentes, que são oriundas da lógica não-clássica denominada Lógica Paraconsistente Anota, converte os dados das medições em Graus de Evidências dos indicadores estatísticos de exatidão, precisão e atendimento às especificações, gerando como resultado um índice final que corresponde à interação entre estes indicadores. A aplicação desta proposta trouxe como benefício ao controle de qualidade, neste ramo da indústria automobilística que trata das Carrocerias Automotivas, a simplificação da problemática da interpretação da análise dimensional.

Palavras chave: Especificações. Estatística. Exatidão. Precisão. Rede de Análise Paraconsistente.

ABSTRACT

The competitiveness of automobile industry refers to Quality as a strategically target for cost reduction and markets conquest. Ensure geometric characteristics of automotive Body in White within standards and specifications can help to prevent and solve problems. The effectiveness of analysis and prioritization of actions are relevant in this context. This paper is based on the creation of a computational tool of dimensional analysis, which through Paraconsistent Analysis Network, which are derived from the non-classical logic called Paraconsistent Annotated Logic that converts measurement data in Evidence Degrees of statistical accuracy indicators, generating as a final product index that corresponds to the interaction between these indicators. The implementation of this proposal brought as a benefit to quality control the simplification of the problem of interpretation of dimensional analysis.

Keywords: Specifications. Statistics. Accuracy. Precision. Paraconsistent Analysis Network.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Carroceria Automotiva.....18
FIGURA 2 – Os subconjuntos para a formação da carroceria completa.....19
FIGURA 3 – Dispositivos de posicionamento de subconjuntos automotivos.....20
FIGURA 4 – MMC de duas colunas medindo carroceria automotiva.....22
FIGURA 5 – Braços articulados de medição.....23
FIGURA 6 – Medição óptica de componente de motor automotivo.....24
FIGURA 7 – Medição por sensor laser acoplada ao braço de medição.....25
FIGURA 8 – Apalpações em elementos circulares.....27
FIGURA 9 – Especificações e valor nominal.....29
FIGURA 10 – Exatidão e Precisão.....30
FIGURA 11 – Fórmula de Cp.....31
FIGURA 12 – Fórmula de Cpk.....32
FIGURA 13 – Fórmula de Pp.....32
FIGURA 14 – Fórmula de Ppk.....33
FIGURA 15 – Percentual de aprovação e ppm defeituosas.....34
FIGURA 16 – Representação de um sistema típico de Análise Paraconsistente.....36
FIGURA 17 – Representação simbólica de um nó de Análise Paraconsistente típico.....37
FIGURA 18 – Representação de uma modelagem de uma rede de Análise Paraconsistente.....39
FIGURA 19 – Foto digital da árvore para objeto de estudo.....40
FIGURA 20 – Limites de especificação e limites de pré-controle.....41
FIGURA 21 – Gráfico de Controle adaptativo.....42
FIGURA 22 – (a) Representação do CAD, (b) Pontos de medição da MMC, (c) 3D Nuvem de Pontos Laser Scanner.....43
FIGURA 23 – Carta de controle estatístico de processo.....46
FIGURA 24 – Medição da carroceria automotiva.....49
FIGURA 25 – Pontos de controle da carroceria automotiva.....50
FIGURA 26 – Informações de um ponto no relatório dimensional.....51
FIGURA 27 – Explicação do relatório dimensional.....51
FIGURA 28 – Fórmula de IPAE - Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações.....56

FIGURA 29 – Relação do Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações com os limites.....56
FIGURA 30 – Fórmula de IPP – Índice Paraconsistente de Precisão.....57
FIGURA 31 – Relação do Índice Paraconsistente de Precisão (IPP) com a Razão de Capacidade Potencial do Processo (Cp).....57
FIGURA 32 – Fórmula de IPE – Índice Paraconsistente de Exatidão.....58
FIGURA 33– Relação do Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) com a Razão de Capacidade Efetiva do Processo (Cpk).....59
FIGURA 34 – Configuração da Rede de Análise Paraconsistente e interação entre os índices.....60
FIGURA 35 – Teste de Validação do algoritmo para P1, P2 e P3 com valores aleatórios.....63
FIGURA 36 – Teste de Validação do algoritmo para P4, P5 e P6 com valores aleatórios.....64
FIGURA 37 – Gráfico da análise dimensional dos pontos de controle a partir da média.....65
FIGURA 38 – Gráfico de aprovação pelo critério de CP>1,0.....67
FIGURA 39 – Gráfico de aprovação pelo critério de CP>1,0 e CP>1,33.....68
FIGURA 40 – Gráfico de aprovação pelo critério de Cpk > 1,0.....70
FIGURA 41 – Gráfico de aprovação pelo critério de Cpk>1,0 e Cpk>1,33.....71
FIGURA 42 – Aprovados, reprovados e os intervalos dos resultados paraconsistentes.....73
FIGURA 43 – Intervalo Paraconsistente, indicação de reprovação e aprovação.....73
FIGURA 44 – Comparação dos resultados obtidos com as diferentes técnicas de análise.....74
FIGURA 45 – Resultados das análises do ponto “A01 - RAD UPR MTG 1 RH - X”..75
FIGURA 46 – Resultados das análises do ponto “A14 - WHELL GUARD MTG RH – X”.....76
FIGURA 47 – Resultados das análises do ponto “A28 - (R) ENG SUP 3 RH – X”....77
FIGURA 48 – Resultados das análises do ponto “D05 - DR HINGE RH – X”.....78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Categorização de desempenho e pontuação atribuída.....45
TABELA 2 – Dados de medição das 90 carrocerias.....53
TABELA 3 – Média dos subgrupos.....54
TABELA 4 – Amplitude dos subgrupos.....54
TABELA 5 – Média, Amplitude, Desvio Padrão, Cp e Cpk.....55
TABELA 6 – Tabela com os pontos reprovados considerando a média.....66
TABELA 7 – Tabela com os pontos reprovados considerando Cp<1,0.....69
TABELA 8 – Tabela com os pontos reprovados considerando Cpk<1,0.....72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A. C.	Antes de Cristo
BAM	Braço Articulado de Medição
CAD	Computer Aided Design
CEP	Controle Estatístico de Processo
CMM	Coordinate Measument Machine
CNAPap	Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem
CNC	Comando Numérico Computadorizado
Cp	Razão da Capacidade Potencial do Processo
Cpi	Razão da Capacidade Efetiva ao Limite Inferior de Especificação
Cpk	Razão da Capacidade Efetiva do Processo
Cps	Razão da Capacidade Efetiva ao Limite Superior de Especificação
DIN	Deutsches Institut für Normung
F	Falso
GC	Grau de Certeza
GCr	Grau de Certeza Real
Gct	Grau de Contradição
IPAE	Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações
IPE	Índice Paraconsistente de Exatidão
IPP	Índice Paraconsistente de Precisão
ISO	International Organization for Standardization
KPC	Key Performance Control
LIC	Limite Inferior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LIPC	Limite Inferior de Pré-Controle
LM	Linha Média
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
LPA2v	Lógica Paraconsistente com Anotação de Dois Valores
LSA	Limite Superior de Análise
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
LSPC	Limite Superior de Pré-Controle
MMC	Máquina de Medir por Coordenadas

P1	Processamento um
P2	Processamento dois
P3	Processamento três
P4	Processamento quatro
P5	Processamento cinco
P6	Processamento seis
p	Proposição
Pp	Índice de desempenho potencial do processo
PPAP	*Production Part Approval Process* - Processo de aprovação de peças produzidas
Ppm	Partes por milhão
Ppk	Índice de desempenho efetivo do processo
Qf	Quase falso
QS9000	*Quality Standard* – Padrão de Qualidade
Qv	Quase verdadeiro
RAP	Rede de Análise Paraconsistente
RCP	Razão da Capacidade do Processo
RNAP	Rede Neural Artificial Paraconsistente
S	Desvio padrão amostral
Sindipeças	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos
SPEC	Especificação
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
Vicc	Valor Inferior de Controle de Certeza
Vicct	Valor Inferior de Controle de Contradição
Vscc	Valor Superior de Controle de Certeza
Vscct	Valor Superior de Controle de Contradição
σ	Desvio padrão estimado.
⊥	Paracompleto ou Indeterminado.
φ	Intervalo de Certeza
3D	Tridimensional
λ	Grau de Evidência desfavorável
μ	Grau de Evidência favorável
μEr	Grau de Evidência Resultante Real

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....14
1.1. Aspectos conceituais da Literatura.....15
1.1.1. A qualidade na indústria.....15
1.1.2. A carroceria automotiva.....17
1.1.3. Metrologia geométrica automobilística.....20
1.1.3.1. Equipamentos de medição por coordenadas.....21
1.1.4. Fatores de variação dimensional em carrocerias.....26
1.1.5. Precisão e Exatidão (Cp e Cpk).....28
1.1.6. Lógica Paraconsistente Anotada.....34
1.1.6.1. Nós de Análise Paraconsistentes (NAP).....37
1.1.6.2. Rede de Análise Paraconsistente.....38
1.1.7. Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada na Metrologia.39
1.2. Aplicações e Revisão da Literatura.....40
1.2.1. Estabilidade dimensional de carrocerias através do pré-controle.....41
1.2.2. Gráficos adaptativos de controle.....42
1.2.3. Controle de Qualidade através dos dados dimensionais de alta densidade.....43
1.2.4. Escala de capacidade na medição e controle de desempenho estratégico.....44
1.2.5. Controle estatístico de processo na manufatura.....45
2. OBJETIVOS.....47
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....48
3.1. Materiais.....48
3.1.1. População e amostra: Carrocerias automotivas.....48
3.1.2. Sala de Medição e Máquina de Medição por Coordenadas MMC.....48
3.1.3. Programa CNC dos pontos de controle.....49
3.1.4. Relatórios individuais das carrocerias medidas.....51
3.2. Método.....52
3.2.1. Definição da base estatística.....53
3.2.2. Extração dos graus de evidência da Média (IPAE).....55

3.2.3. Extração dos graus de evidência de Cp (IPP).....57
3.2.4. Extração dos graus de evidência Cpk (IPE).....58
3.2.5. Modelagem da Rede de Análise Paraconsistente e aplicação do algoritmo.....59
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....65
4.1. Conformidade dimensional a partir da Média e correlação com a Análise Paraconsistente.....65
4.2. Conformidade dimensional a partir de Cp e correlação com a Análise Paraconsistente.....67
4.3. Conformidade dimensional a partir de Cpk e correlação com a Análise Paraconsistente.....69
4.4. Indicação de Aprovação e Reprovação pela Análise Paraconsistente..72
4.5. Considerações finais sobre os resultados.....79
5. CONCLUSÃO.....81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....83

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística está inserida em um dos mercados de maior competitividade no cenário global. A qualidade é sem dúvida um fator decisivo neste mercado acirrado. Além disso, a falta de qualidade pode significar sérios prejuízos com *recalls*, ou afetar a imagem das marcas. Neste contexto, as organizações realizam investimentos maciços para assegurar que os seus produtos não apresentem problemas, ou para oferecer ao mercado um produto de qualidade superior.

Assegurar que as características geométricas da carroceria automotiva estejam de acordo com as especificações é relevante para a qualidade de um veículo, pois pontos fora da especificação podem comprometer o posicionamento dos demais subsistemas que são fixados à carroceria, como o motor, transmissão, revestimentos, painel e estofamentos.

Sendo assim, a metrologia se torna um trunfo estratégico, onde os dados gerados, quando utilizados de forma consistente, podem promover uma avaliação preventiva de falhas e a definição de ações corretivas eficazes.

A análise dos relatórios dimensionais gerados pela metrologia, a partir da medição de carrocerias, pode gerar interpretações distintas, dependendo da técnica de análise aplicada pelos profissionais envolvidos. Pode ser considerado o resultado de uma característica comparando-a simplesmente à especificação, ou podem ser considerados os parâmetros estatísticos de precisão e exatidão, além disso, o fator quantidade de amostras também pode influenciar no resultado da análise. Ou seja, dependendo da técnica utilizada, uma característica pode ser considerada “aprovada”, porém a mesma característica pode ser “reprovada” por outra técnica de análise.

Paralelamente a este cenário do controle de qualidade, a ciência evolui com contribuições e aplicações no ramo da Inteligência Artificial, baseados nos conceitos das Redes Neurais e aplicações da lógica não-clássica, denominada de Lógica Paraconsistente Anotada, capaz de tratar inconsistências, indefinições ou mesmo obter a partir de diversos graus de evidência favoráveis ou desfavoráveis uma resposta única capaz de nortear a tomada de decisão.

O presente trabalho busca a elaboração de uma técnica de análise que converta os dados das medições de carrocerias em um valor de referência único,

que leva em consideração os fatores: atendimento às especificações, precisão e exatidão, onde o algoritmo responsável por este processamento é suportado pela Lógica Paraconsistente Anotada através das Redes de Análises Paraconsistentes.

1.1. Aspectos conceituais da Literatura

Os capítulos a seguir fazem um aprofundamento dos conceitos, bem como expõe os pontos relevantes que embasam a proposição do presente trabalho.

1.1.1. A qualidade na indústria

Qualquer que seja o tipo de organização que você trabalhe – um hospital, uma universidade, um banco, uma companhia de seguros, uma administração municipal, uma companhia aérea, uma fábrica – a competição sempre está presente: competição por clientes, por estudantes, por pacientes, por recursos, por fundos. Na maioria das organizações de todos os tipos restam poucas pessoas que ainda precisam ser convencidas de que a qualidade é a mais importante das armas competitivas (OAKLAND, 1994).

A ausência da qualidade provoca sérios prejuízos à indústria. Segundo uma pesquisa realizada em 2013 pelo Sindipeças (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores) com uma amostra de 63 associados, chega a impressionantes R$ 5,6 bilhões por ano o custo da falta de qualidade da cadeia de autopeças no Brasil, o equivalente a 6,6% do faturamento do setor (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2013).

As Normas ISO 9000 também estimulam as empresas automobilísticas a adotar sistemas de gerenciamento com o foco voltado para a melhoria contínua, a fim de incrementar a competitividade das organizações (CARDOSO, 2004).

A gestão pela qualidade total procura tratar o processo manufatureiro como um gerador potencial de vantagem competitiva para as organizações, funcionando como um motor competitivo para as empresas. Com este enfoque ocorre um enorme processo de influência nas definições das estratégias de manufatura (COUTRO, 1996).

A qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores na seleção de produtos e serviços que competem entre si (MONTGOMERY, 2004).

Os conceitos de qualidade se espalharam pelos continentes e surgiram a partir de nomes como os de Juran, Crosby, Feigenbaun, grandes especialistas em qualidade que definem a qualidade como:

“Qualidade é adequação ao uso”, onde a adequação é definida pelo consumidor – mesmo quando ele deseja fazer algo fora do que o fabricante imaginou (JURAN, 1991).

“Qualidade é conformidade com os requisitos” (CROSBY, 1988).

Qualidade é uma filosofia de gestão e compromisso com a excelência:

1. É o único objetivo da organização;
2. É determinada pelos clientes;
3. Pressupõe trabalho em grupo (círculos de qualidade);
4. Exige o comprometimento da alta direção;
5. Exige o aumento da capacidade de decisão dos trabalhadores e redução dos níveis hierárquicos (FEIGENBAUM, 1994).

A partir da década de setenta a supremacia da indústria automobilística européia e americana foi desafiada pela indústria Japonesa, que introduziu novos métodos de produção e uma nova abordagem na organização do trabalho, este sistema está apoiado na produção enxuta e no Controle de Qualidade Total (WOOD JR, 1992).

A Gestão da qualidade Total é um sistema permanente e de longo prazo, voltado ao alcance da satisfação do cliente através de um processo de melhoria contínua dos produtos e serviços gerados pela empresa. Sendo que de caráter geral, uma gestão pela qualidade total que efetivamente tenha controle sobre a qualidade, tem como necessidade a participação de todos os membros da organização, incluindo gerentes, supervisores, trabalhadores e executivos na busca do objetivo de melhoria contínua (MEARS, 1993).

A percepção de qualidade leva em consideração o fato de que todo produto possui um número de elementos que, em conjunto, descrevem o que o consumidor

considera como qualidade. Estes parâmetros são em geral, chamados características da qualidade. Essas características da qualidade podem ser físicas (exemplo: comprimento, largura, altura), sensoriais (exemplo: gosto, aparência), orientação temporal (exemplo: durabilidade, confiabilidade).

A variabilidade das características da qualidade, só pode ser descrita ou medida em termos estatísticos, transformando assim a Estatística em uma forte ferramenta para o controle de qualidade. Além disso, a Estatística é a língua na qual os engenheiros, operários, compradores, administradores e outros integrantes da indústria se comunicam sobre qualidade (MONTGOMERY, 2004).

1.1.2. A carroceria automotiva

A carroceria de um veículo é o “esqueleto” do carro, ou seja, na sua expressão mais simples um automóvel é uma viga suportada em cada extremidade por rodas. E deve ser suficientemente forte para não dobrar na parte central, isto é, ser resistente à flexão. Um automóvel deve, também, ser resistente aos esforços de torção impostos pelas irregularidades do pavimento e a determinadas cargas, tais como o peso do motor, o impulso das molas e pequenos embates.

A carroceria também protege os ocupantes contra as inclemências do tempo e deve também ser resistente a estas. Se a carroceria for de aço, o fabricante tem de evitar não só as zonas onde possa alojar–se umidade, que provocaria a formação de ferrugem, mas também o emprego de determinados metais em contato com o aço, do que resultaria corrosão por ação eletroquímica (CASTRO, 2009).

Em outra definição da carroceria automotiva, Righetto (2005) afirma que os veículos possuem um corpo estrutural chamado carroceria. Nela são montados todos os componentes mecânicos como suspensão, freios, motor, câmbio, entre outros, todos os acabamentos internos como painel de instrumentos, revestimentos internos, bancos e tapeçaria, acabamentos externos como faróis, lanternas, vidros e os pára-choques, e toda a parte elétrica.

Na Figura 01, está ilustrada a carroceria automotiva.

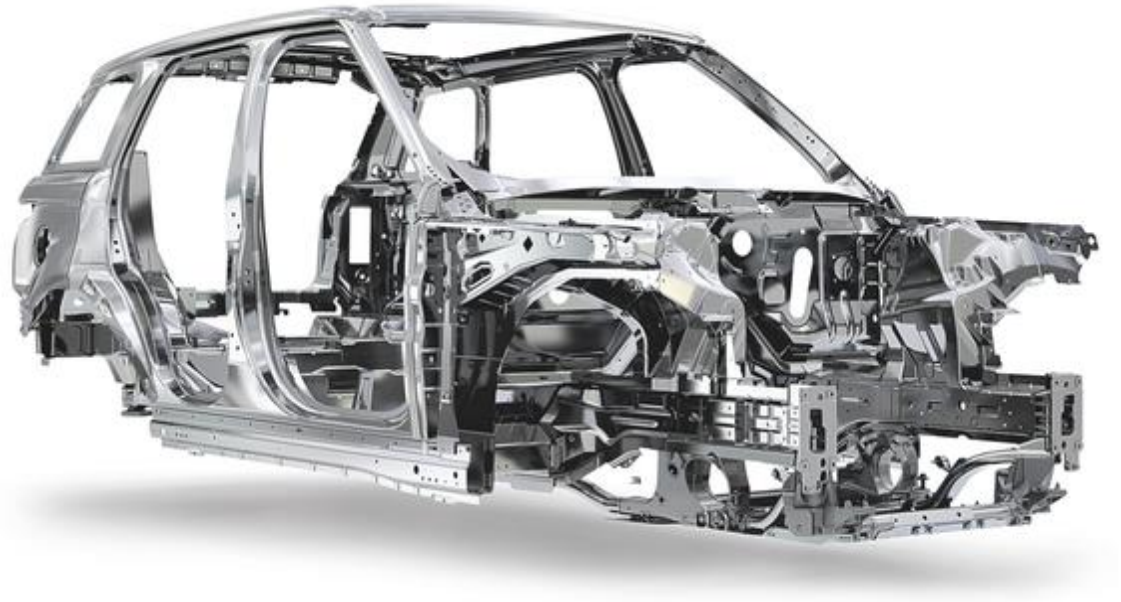


Figura 01 – Carroceria Automotiva

Fonte: QUINTANILHA, 2013

Em um processo de armação ou montagem de uma carroceria automotiva, as peças unitárias metálicas são posicionadas em dispositivos e soldadas entre si formando subconjuntos (ex.: longarinas, painéis dianteiro e traseiro, reforços das laterais, painel interno das portas).

Por sua vez, os subconjuntos são soldados formando conjuntos (ex.: assoalho, laterais, portas) e esses formam a carroceria completa conhecida como *Body in White* (BARROS, 2006).

Na Figura 02, é possível observar os subconjuntos principais até se chegar à carroceria automotiva.

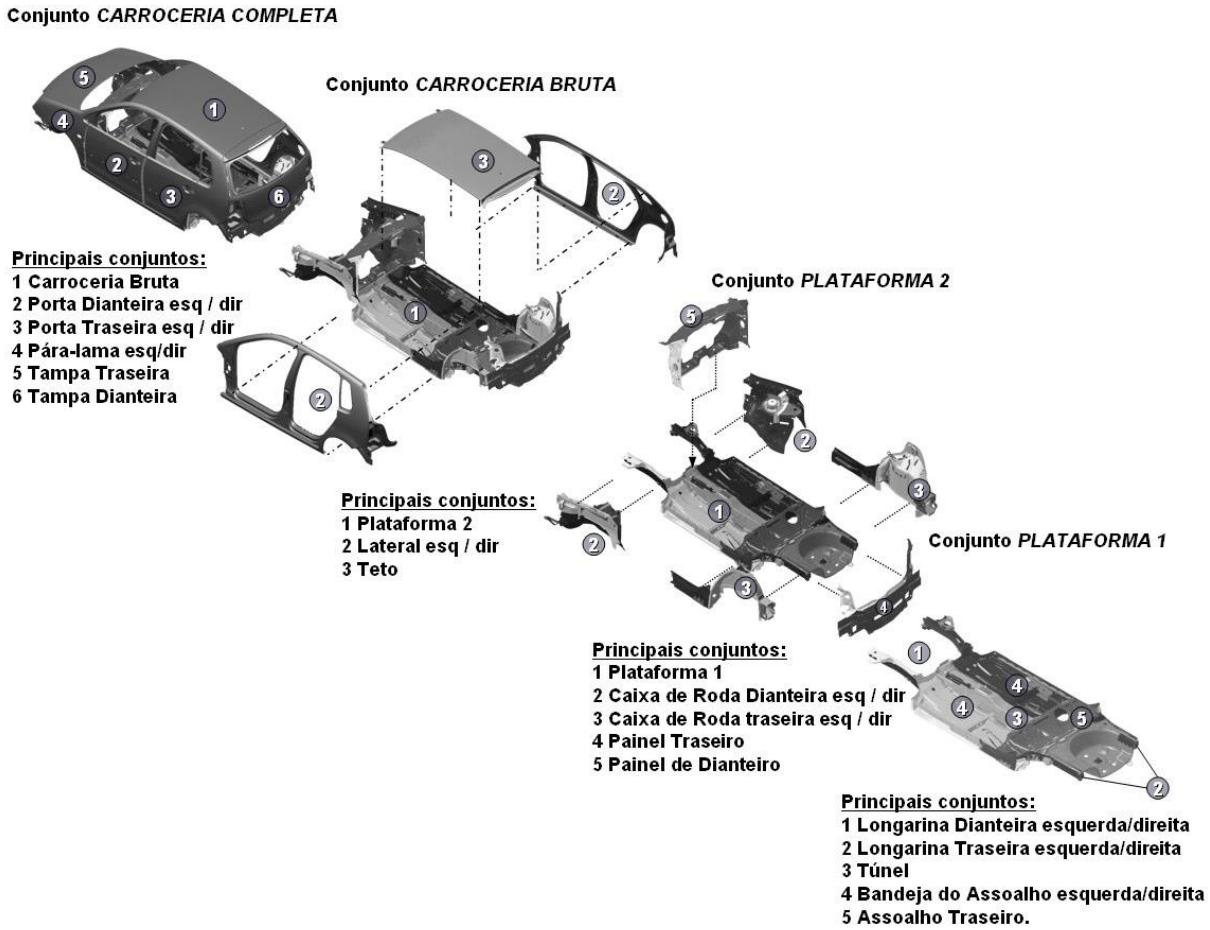


Figura 02 – Os subconjuntos para a formação da carroceria completa

Fonte: BARROS, 2006. p. 6

Pode-se notar através da figura 02 que subconjuntos são adicionados aos conjuntos principais, evoluindo do Conjunto Plataforma 1 para Conjunto Plataforma 2, outros subconjuntos são adicionados formando a Carroceria Bruta e a formação da Carroceria Completa se dá quando as portas, tampas e para lamas são montadas à estrutura principal.

Em um processo de armação de carrocerias, o correto posicionamento das peças depende de recursos auxiliares, chamados de dispositivos de posicionamento. Estes dispositivos acomodam as partes em uma posição definida, e através de grampos, pinos e apoios as peças são mantidas nesta mesma posição durante o processo de soldagem. Após a soldagem os grampos cessam a pressão, visto que o processo de solda já uniu as partes na posição desejada. Na figura 03, pode-se ver a concepção de um dispositivo de posicionamento de uma lateral para execução da operação de soldagem e união das partes.

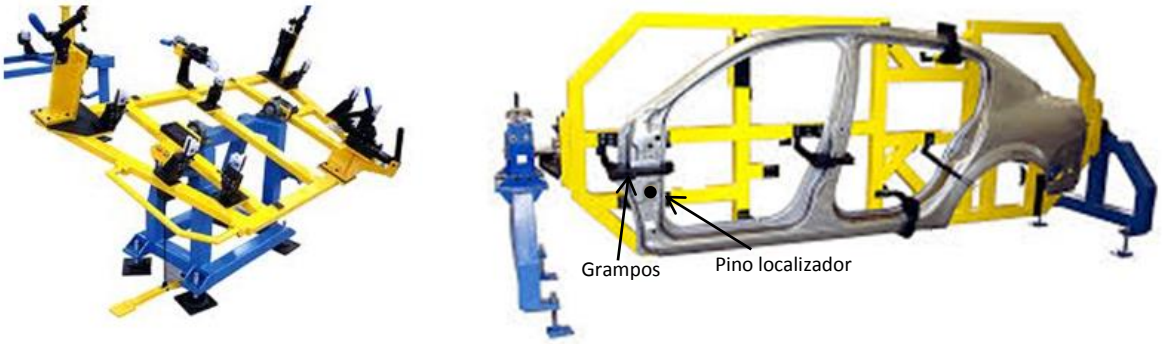


Figura 03 – Dispositivos de posicionamento de subconjuntos automotivos

Fonte: EURONOBRE, 2014

Na figura 03 pode-se observar que as peças são acomodadas e posicionadas por pinos localizadores e grampos que quando fechados mantém as peças na posição requerida. Após o processo de soldagem os grampos se abrem e o subconjunto formado pelas peças soldadas, já pode ser removido.

1.1.3. Metrologia geométrica automobilística

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos, relacionados às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia.

Nesse sentido a Metrologia Industrial é uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país (INMETRO, 2014).

O controle geométrico trata basicamente dos procedimentos de determinação de dimensões, forma e posição de elementos sólidos. Para isto deve-se considerar o comportamento metrológico do sistema de medição e a condição do objeto a medir.

Deve-se ter em mente que na fabricação de uma peça não se consegue obter a forma geométrica perfeita, assim ao usinar um cilindro, por exemplo, existem erros de circularidade que são oriundos das limitações do maquinário, processo produtivo, imperícia do operador ou problemas com a matéria-prima. Geralmente estes erros têm um limite permissível para não afetar a funcionalidade do produto, fazendo que os processos sejam concebidos e ajustados para não ultrapassar os limites

permissíveis (tolerâncias). Quanto mais preciso o processo de fabricação, menor será o valor da tolerância de fabricação estipulada para a geometria em questão (CAVACO, 2002).

Desse modo, para garantir que os desvios de fabricação não prejudiquem a montagem e o funcionamento perfeito das peças, o controle geométrico utiliza como referencial às especificações de tolerâncias geométricas (CAVACO, 2002).

1.1.3.1. Equipamentos de medição por coordenadas

No ramo automotivo, mais precisamente no controle geométrico de carrocerias automotivas, as máquinas de medição geralmente aplicadas são: MMC - Máquinas de Medir por Coordenadas por apalpação, Braços Articulados de Medição, Sistemas de Medição sem Contato. A função principal de um equipamento de medição por coordenadas é medir a geometria real de uma peça, comparar com o elemento geométrico ideal e avaliar a informação resultante, como tamanho, forma, localização e orientação (HAMBURG-PIEKAR, 2006).

Máquinas de medir por coordenadas (MMC) são aquelas máquinas que fornecem representações de sistemas coordenados cartesianos, retilíneos e tridimensionais. A flexibilidade e a exatidão justificam a aceitação dessas máquinas na metrologia industrial. Há poucas peças cujas formas e/ou dimensões não podem ser medidas com uma MMC (LIMA, 2006).

Neste tipo de equipamento a geometria de uma peça é obtida por apalpação de pontos discretos sobre a superfície. Cada ponto medido é expresso na forma de coordenadas medidas.

A figura 04 ilustra a aplicação de uma MMC - Máquina de Medir por Coordenadas de duas colunas, na medição de uma carroceria automotiva posicionada para medição.

Figura 04 – MMC de duas colunas medindo carroceria automotiva

Fonte: HEXAGON METROLOGY, 2014

O exemplo da figura 04 traz a aplicação de duas colunas de medição que trabalham simultaneamente.

As duas colunas partem de um referencial que é conhecido como “ponto zero”. Os movimentos do equipamento de medição são controlados por sensores e comutadores que identificam os movimentos do apalpador de medição (MAY, 2007).

Na indústria, a principal aplicação das MMC é o controle geométrico da produção. Pois, a medição sistêmica de um determinado produto permite uma retroalimentação entre os processos, fabricação e inspeção envolvidas nas tarefas de produção de peças metal-mecânica (HAMBURG-PIEKAR, 2006).

As MMCs modernas podem adquirir a informação sobre a superfície da peça de duas modalidades de apalpação diferentes: “Ponto a ponto” e “Por varredura” - “Scanning” (MAY, 2007).

Na apalpação “ponto a ponto”, o apalpador se aproxima da superfície da peça numa direção que pode ser normal à superfície da mesma ou coincidir com um dos eixos coordenados da máquina, dependendo do modelo da MMC e do software de medição usado. As coordenadas do ponto central do sensor esférico são adquiridas e posteriormente o apalpador se separa da peça, deslocando-se em busca do ponto seguinte. As coordenadas do ponto de contato sensor-peça são obtidas por correção

do raio do sensor esférico, a partir das coordenadas adquiridas do centro (MAY, 2007).

No sistema “por varredura” – “Scanning”, o sensor permanece em contato com a superfície da peça e se desloca em uma direção pré-determinada. Durante essa trajetória, as coordenadas do centro do sensor são adquiridas seqüencialmente. Posteriormente, as coordenadas dos pontos de contato sensor-peça são obtidas por correção do raio do sensor na direção espacial apropriada (MAY, 2007).

Os braços articulados de medição (BAMs) usam uma série de articulações compondo 5, 6 ou 7 graus de liberdade e medidores angulares de precisão (encoders) para determinar a posição de um apalpador no espaço tridimensional. O posicionamento do apalpador na superfície da peça é feito manualmente e o volume de medição é esférico.

Devido a sua configuração construtiva, os braços articulados de medição possuem algumas características vantajosas que podem ser decisivas em determinadas aplicações, pode-se destacar a portabilidade e praticidade, além de um menor custo em relação às máquinas de medição por coordenadas cartesianas (LIMA, 2006).

A figura 05 apresenta alguns exemplos de braços articulados de medição.

Figura 05 – Braços articulados de medição

Fonte: LIMA, 2006 p.17.

Dessa forma, medições em campo e em locais de difícil acesso são possíveis do ponto de vista operacional, com relativa facilidade para o usuário (LIMA, 2006).

As tecnologias baseadas em princípios ópticos de medição se caracterizam pela ausência de contato entre o instrumento de medição e o mensurando. Dentre essas soluções destacam-se os sistemas topogramétricos, denominados de “digitalização óptica” e os sistemas que operam pela técnica de fotogrametria (LIMA, 2006).

“Fotogrametria é a arte, ciência, e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação e imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos” (ASPRS, 2007).

A Figura 06 ilustra uma aplicação da medição óptica.

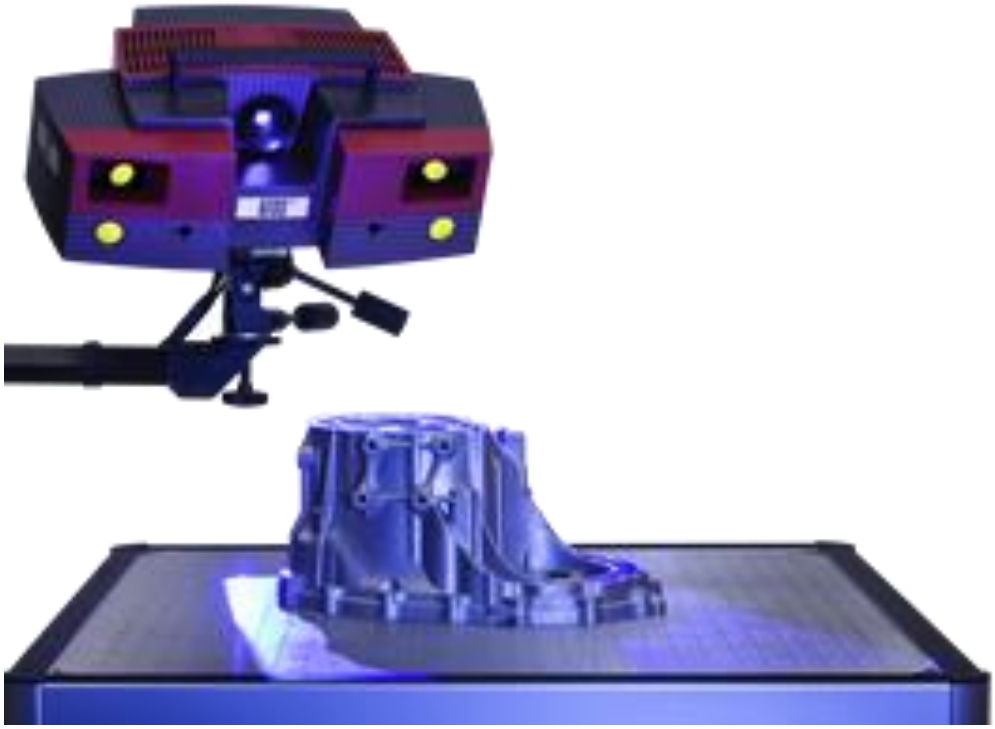


Figura 06 – Medição óptica de componente de motor automotivo

Fonte: GOM, 2014

A fotogrametria determina o tamanho e a forma de objetos através da análise de duas ou mais imagens bidimensionais gravadas em uma película ou em meios eletrônicos. O princípio fundamental da fotogrametria é a triangulação, em um processo semelhante ao praticado pelo olho humano na avaliação de profundidade (BRANDALIZE, 2014).

Três características do processo de medição definem a precisão do sistema: Campo de visão, exposição e foco (GEODETIC SYSTEMS, 2013).

O campo de visão vai definir a distância do objeto das lentes de captação, ou seja, quanto maior a distância do objeto menor será a precisão. A exposição define o contraste para a captação da geometria do objeto em relação ao plano de fundo. Enquanto o foco é uma combinação do formato do objeto, tamanho, distância das lentes, capacidade e resolução da lente (GEODETIC SYSTEMS, 2013).

A fotografia é um processo de projeção do mundo tridimensional (3D) em imagens planas (2D). A câmera é o dispositivo que faz esta transformação ou mapeamento de posições 3D em espaços 2D. Com um mínimo de duas imagens 2D diferentes (posições ou vistas diferentes) é possível a reconstrução 3D do objeto submetido à medição (LIMA, 2006).

Os sistemas de medição a laser se baseiam no principio de que um instrumento de medição emite milhares de pulsos lasers por segundo, normalmente de luz infravermelha. O instrumento mede as distâncias, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de atitude do feixe, gerando uma nuvem densa de pontos (NASCIMENTO JUNIOR; SCHULER 2006).

A figura 07 apresenta a ilustração de um sistema de medição a laser aplicado ao cabeçote de um braço articulado de medição.

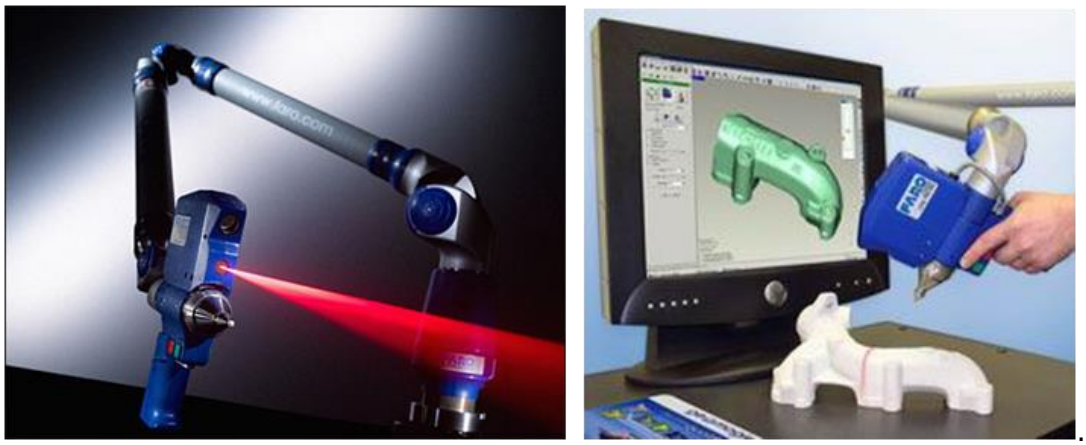


Figura 07 – Medição por sensor laser acoplada ao braço de medição

Fonte: 3D *Laser Scanning*, 2014

Os lasers podem ser baseados no princípio da triangulação, neste caso eles possuem uma fonte laser e um sensor, que captura a luz laser refletida pelo objeto. E os lasers scanners baseados no tempo de retorno do sinal. A partir destes dados é

possível calcular as coordenadas cartesianas 3D dos pontos medidos e sua resposta espectral (WUTKE, 2006)

1.1.4. Fatores de variação dimensional em carrocerias

Toda variação dimensional da montagem está baseada no empilhamento entre geometrias por formas e furos/pinos de localização em dispositivos. A capacidade de se garantir a menor variação dimensional é proporcional ao número de empilhamentos e ao comportamento geométrico dos componentes para formar o conjunto (PERES, 2007).

A propagação da variação dimensional pode ocorrer pelo somatório das deformações, seja pela variação dimensional no empilhamento, ou pela condição de retorno elástico da própria peça, e são elementos focais da definição dos padrões de geometria e dimensão (ASME, 1994).

Além das variações inerentes ao processo de fabricação, o sistema de medição também pode influenciar o resultado, agregando às medições variações superiores as que realmente estão presentes nas peças e conjuntos.

Temperatura, vibrações e partículas sólidas em suspensão, em geral prejudicam o equipamento e podem afetar as medições, pois afetam diretamente a eficácia da precisão mecânica do sistema. Pode provocar picos espúrios nas medições e usualmente levar à necessidade de ajustes do equipamento (WILKE; OLIVEIRA, 2000).

A quantidade de partículas sólidas em suspensão (poeira) em um ambiente, além de influenciarem diretamente o resultado da medição, também contribui à degradação prematura do equipamento. Uma maneira de minimizar a quantidade de partículas em um ambiente é mantendo a pressão da sala de medição levemente superior ao ambiente externo, ou seja, o fluxo do sistema de insuflamento maior que o fluxo do sistema de exaustão (ARENHART, 2007).

Os programas de medição por coordenadas constroem as características associadas, ou elementos geométricos (reta, plano, círculo, cilindro, cone, esfera) através de ajustes matemáticos, isto porque a apalpação coleta apenas os dados individuais da área de contato do apalpador. Porém, não necessariamente este elemento geométrico possui uma superfície perfeita e uniforme, então para definir estes elementos, existem algumas formas de ajuste (mínimos quadrados, mínima

zona, mínimo elemento circunscrito, máximo elemento inscrito, elemento tangente externo, elemento tangente interno), cada qual tendo sua aplicação específica (ARENHART, 2007).

Entretanto, as apalpações podem ocorrer em zonas com rebarbas ou irregularidades, e isto pode prejudicar o resultado da medição.

A Figura 08 ilustra a aplicação de medição por apalpação de elementos circulares.

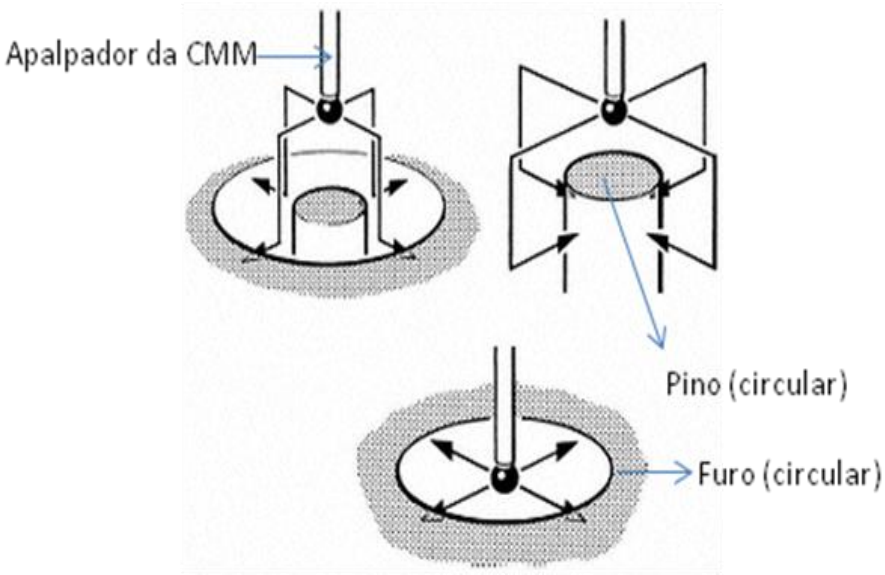


Figura 08 – Apalpações em elementos circulares

Fonte: RENISHAW, 2014

Utilizando o exemplo da figura 08, o conjunto de apalpações realizadas nestes elementos geométricos pode objetivar trazer dados como, por exemplo, o diâmetro ou a posição central do furo. Se existirem irregularidades na superfície apalpada o cálculo certamente estará comprometido. Da mesma forma pode haver discrepância de valores se a medição for realizada por outro programa de medição com uma quantidade diferente de apalpações, bem como se as apalpações ocorrem em pontos de contato diferentes (ARENHART, 2007).

São normalmente considerados fatores de influência o acabamento superficial, as propriedades termomecânicas do material (coeficiente de expansão térmica e módulo de elasticidade) e os erros de forma dos elementos (ARENHART, 2007).

Peças com baixa rigidez podem ser deformadas no momento da fixação, por peso próprio ou por achatamento no momento da apalpação. Mesmo peças com

elevada rigidez podem sofrer deformações elásticas se submetidas à força excessiva na fixação. O uso de grampos de pressão é prática comum, embora possa provocar grandes deformações caso não seja utilizado de forma criteriosa (RIGHETTO, 2005).

De acordo com um estudo realizado por empresas americanas do ramo automobilístico *"Stamping Process Variation"*, 1999, existem sete categorias de potencial variação dimensional em peças estampadas: características dimensionais da matéria prima, lubrificação da matéria prima, parâmetros de estampagem do maquinário (tonelagem da prensa), propriedades mecânicas do material-metal, características do ferramental (punção e matriz), miscelânea das variáveis, e interatividade entre as variáveis.

Os dispositivos de armazenamento, também conhecidos como rack, têm função de assegurar que as peças automotivas mantenham suas características e propriedades dimensionais, porém em algumas situações por falta de manutenção nestes dispositivos, ou mesmo a imperícia de operadores no momento da colocação, a peça pode ser danificada no rack, alterando e tencionando a geometria, provocando variação dimensional entre as peças. Quando estas peças são montadas nas carrocerias, podem provocar problemas durante o processo de montagem, ou mesmo divergências quando comparadas às especificações (NETO, 2011).

1.1.5. Precisão e Exatidão (Cp e Cpk)

Para um produto manufaturado as especificações são as medidas desejadas para as características de qualidade de um determinado componente, bem como os valores desejados para as características de qualidade do produto final.

De acordo com o dicionário da língua portuguesa (DICIO, 2014), especificações tratam a descrição, ou seja, a determinação circunstanciada requerida. Definição das características às quais deve responder uma instalação, uma construção, um material, uma confecção, um produto.

Um valor de medida que corresponde ao valor desejado para aquela característica de qualidade chama-se valor nominal ou valor alvo. Os valores alvos são, usualmente, limitados por um intervalo de valores que, tipicamente, acreditamos estarem tão próximos do alvo que, se a característica de qualidade

estiver neste intervalo não causará impacto na função ou desempenho do produto. O maior valor permitido para uma característica de qualidade é chamado de limite superior de especificação – LSE, o menor valor permitido para uma característica de qualidade chama-se de limite inferior de especificação - LIE (RIBEIRO; CATEN, 2012).

A figura 9 ilustra de forma gráfica o conceito de especificação, valor alvo e limites.

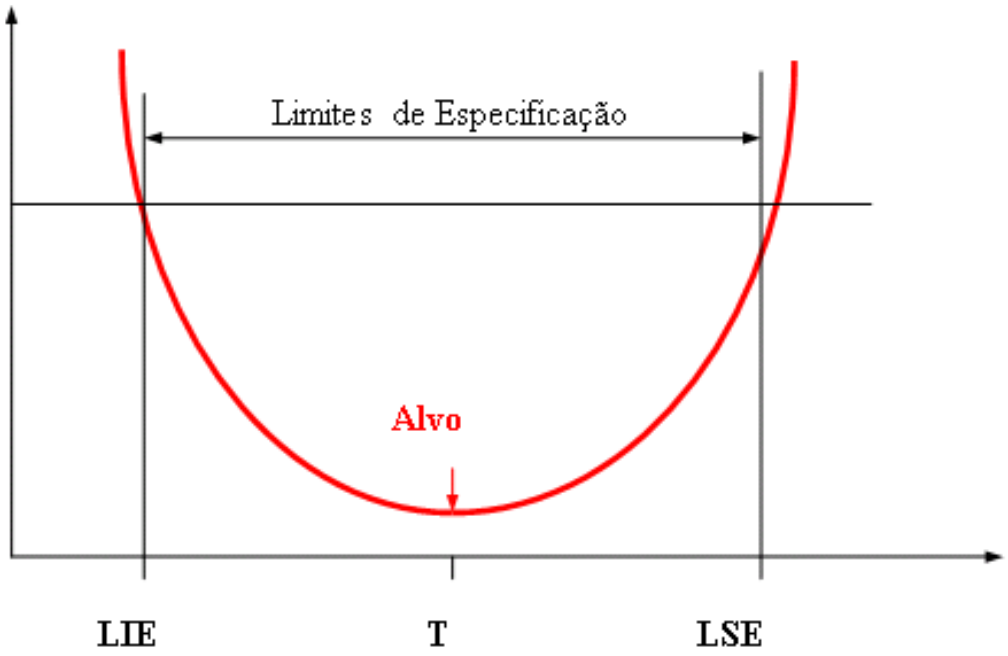


Figura 9 – Especificações e valor nominal

Fonte: DA SILVA; GARCIA, 2014

Na Figura 9 o valor nominal é representado pelo T, às linhas à esquerda e à direita representa respectivamente os Limites de Especificação.

As especificações são, em geral, o resultado do processo de planejamento de engenharia para um produto, onde características críticas para funcionalidade do produto são levadas em consideração (MONTGOMERY, 2004).

O Desvio é a diferença entre o valor real mensurado e o valor de referência especificado (Valor alvo). O objetivo da medição na abordagem do erro (desvio) é determinar uma estimativa do valor verdadeiro que esteja tão próxima quanto possível deste valor verdadeiro único. O desvio do valor verdadeiro pode ser composto de erros aleatórios e sistemáticos (VIM, 2012).

Em Engenharia, Ciência, Indústria e Estatística, a exatidão se refere à conformidade das medidas coletadas com o valor alvo.

Exatidão trata-se do grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando. Uma medição, por exemplo, é dita mais exata quando fornece um erro de medição menor. O termo “exatidão de medição” não deve ser utilizado no lugar de veracidade de medição, assim como o termo “precisão de medição” não deve ser utilizada para expressar exatidão de medição, o qual, contudo, está relacionado a ambos os conceitos (VIM, 2012).

Precisão é uma medida do grau de repetibilidade entre as medidas. Em outras palavras é a divergência embutida no sistema de medida.

Quanto menor a expansão da distribuição, melhor é a precisão. Em outras palavras é o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob as condições especificadas. A precisão de medição é geralmente expressa numericamente por características como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob as condições especificadas de medição. A precisão de medição é utilizada para definir a repetibilidade de medição, a precisão intermediária de medição e a reprodutibilidade de medição (VIM, 2012).

A figura 10 ilustra este conceito de precisão e exatidão.

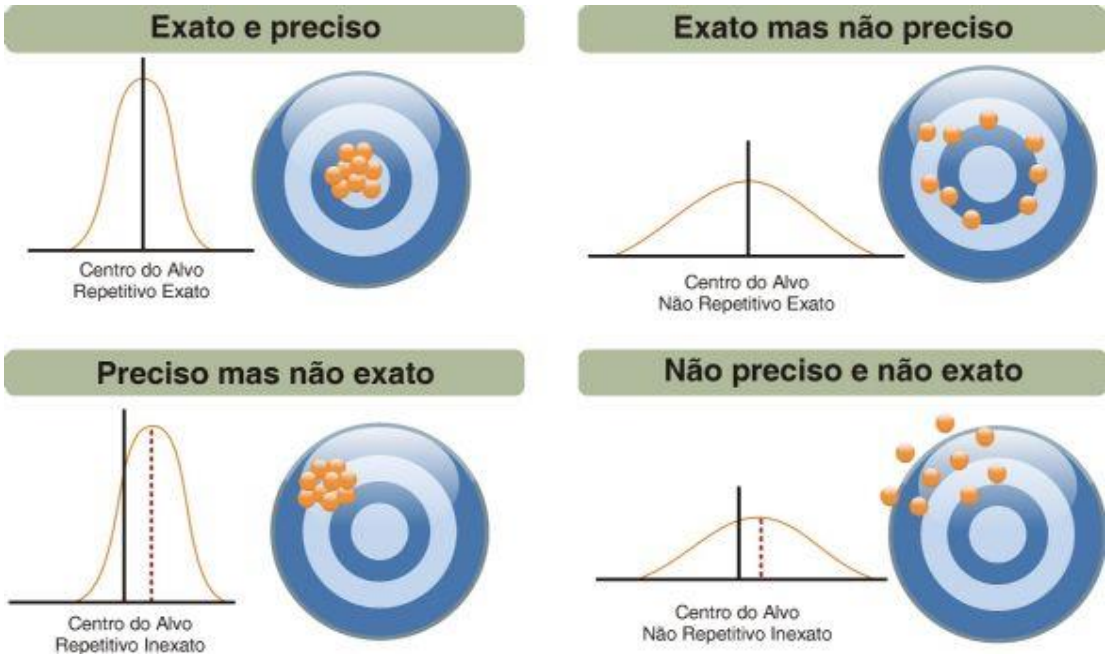


Figura 10– Exatidão e Precisão

Fonte: NOVUS, 2014

Pode-se verificar através da figura 10 que os valores que estão concentrados ao centro do alvo e pouco dispersos são considerados “Exatos e precisos”. Os valores que estão dentro do alvo, porém dispersos são considerados “Exato, mas não preciso”. Os valores que estão deslocados do centro do alvo, mas pouco dispersos são considerados “Preciso, mas não exato”. E por último os valores que estão dispersos e afastados do centro do alvo são considerados “Não preciso e não exato” (BERNARDES, 2012)

As técnicas estatísticas podem ser úteis, para quantificar a variabilidade do processo produtivo e comparar esta variabilidade com as exigências ou especificações do produto. Esta atividade geral é chamada de análise da capacidade do processo. Define-se a análise da capacidade de um processo como um estudo de engenharia para estimar a variabilidade de um processo (MONTGOMERY, 2004).

A capacidade de um processo pode ser medida pelo RCP (razão da capacidade do processo), conhecida também como índice de Cp. A figura 11 apresenta a fórmula de Cp:

$$Cp = (LSE - LIE)/6\sigma \qquad \text{(eq.1)}$$

Figura 11 – Fórmula de Cp

Fonte: MONTGOMERY, 2004. p. 225

Sendo: Cp = Razão de capacidade potencial do processo; LSE = Limite superior de especificação; LIE = Limite inferior de especificação; σ = Desvio padrão estimado.

A razão da capacidade de um processo por Cp não leva em consideração onde a média do processo está localizada em relação às especificações.

A situação de atendimento às especificações que determinam se uma cota está dentro ou fora dos limites, ou mesmo que avalia o deslocamento de média em relação a estes limites, podem ser analisadas a partir de uma razão de capacidade conhecida como Cpk. A figura 12 apresenta a fórmula de Cpk.

$$Cpk = \min (Cps, Cpi)$$

$$\min = \{ Cps = [(LSE - \mu)/ 3\sigma] \;\; ; \;\; Cpi = [(\mu - LIE)/ 3\sigma]\} \qquad \text{(eq.2)}$$

Figura 12 – Fórmula de Cpk

Fonte: MONTGOMERY, 2004. p. 227

Sendo: Cpk = Razão de capacidade efetiva do processo; Cps = Razão de capacidade efetiva ao limite superior da especificação; Cpi = Razão de capacidade efetiva ao limite inferior da especificação; LSE = Limite superior de especificação; LIE = Limite inferior de especificação; μ = Média das 30 amostras; σ = Desvio padrão estimado.

O índice Cpk nada mais é do que a RCP unilateral para o limite de especificação mais próximo da média do processo (μ). De modo geral se Cp = Cpk o processo está centrado no ponto médio das especificações, e quando Cpk < Cp o processo está descentrado.

Por isso costuma-se dizer que Cp mede a capacidade potencial no processo enquanto Cpk mede a capacidade efetiva (MONTGOMERY, 2004).

Portanto, o índice Cpk avalia a distância da média do processo aos limites da especificação, tomando aquela que for menor, e, portanto, mais crítica em termos de chances de se produzir itens fora de especificação.

Existem ainda os conhecidos índices de desempenho de um processo, conhecidos como Pp e Ppk, a diferença fundamental destes com os índices de Cp e Cpk, está no tamanho do subgrupo da amostra. Enquanto o Cp e Cpk utilizam o desvio padrão estimado (para subgrupos maiores que 1), o Pp e o Ppk utilizam o desvio padrão amostral (S), para subgrupo igual a 1. Portanto as fórmulas do Pp e Ppk se diferenciam pelo uso do desvio padrão amostral (S).

A figura 13 apresenta a fórmula de Pp.

$$Pp = (LSE - LIE)/6S \qquad \text{(eq.3)}$$

Figura 13 – Fórmula de Pp

Fonte: MONTGOMERY, 2004. p. 234

A figura 14 apresenta a fórmula de Ppk.

$$Ppk = \min (Pps, Ppi)$$

$$\min = \{ Pps = [(LSE - \mu)/ 3S] \quad ; \quad Ppi = [(\mu - LIE)/ 3S]\} \qquad \text{(eq.4)}$$

Figura 14 – Fórmula de Ppk

Fonte: MONTGOMERY, 2004 p. 234

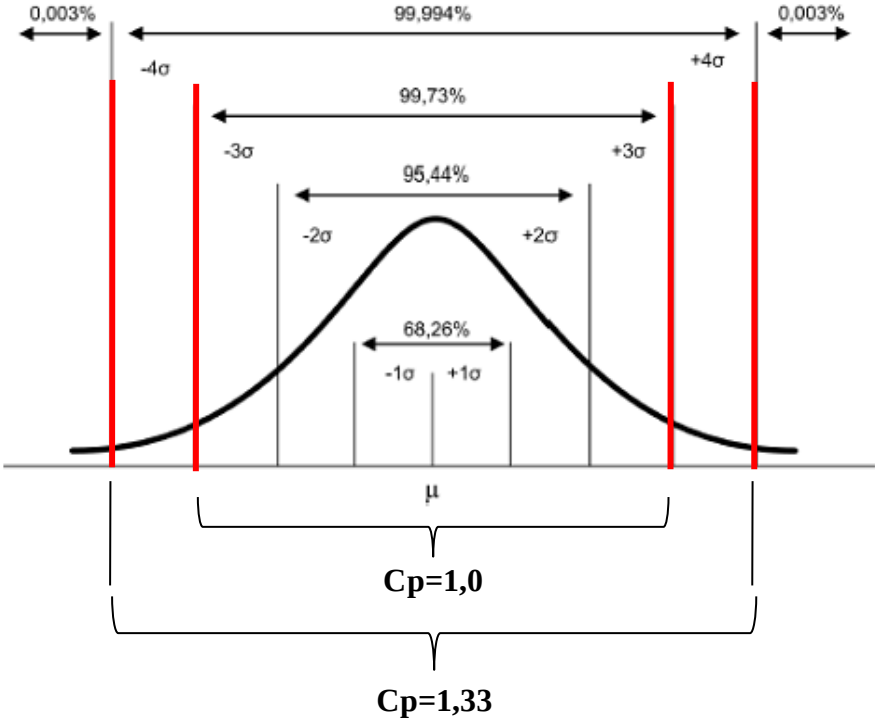
Quando o processo é distribuído normalmente e está sob controle, Pp é essencialmente Cp, e Cpk é essencialmente Ppk, porque, para um processo estável, a diferença entre o “σ” e o “S” é mínima (MONTGOMERY, 2004).

Produtos de alta tecnologia com muitos componentes complexos têm, tipicamente, muitas oportunidades de falhas e defeitos. A *Motorola* desenvolveu na década de 80 um programa de qualidade e gestão designado “Seis Sigmas”, com foco na redução da variabilidade dos processos e dos produtos a níveis em que as falhas e defeitos seriam eventos quase que improváveis. O programa baseia-se na distribuição de probabilidades normal, com os Limites de Especificação em três desvios padrão para cada lado da média. Nesta situação a probabilidade de se produzir um produto dentro das especificações é de 99,73%, o que representa um Cp=1,0 (MONTGOMERY, 2004).

Dependendo da aplicação envolvida, as indústrias convencionam internamente e com seus respectivos fornecedores a adoção de valores de Cp e Cpk como referências para análises de aprovação e reprovação. De acordo com o valor aplicado ao Cp e Cpk, é possível estimar a quantidade de peças rejeitadas em um processo (JURAN; GRYNA, 1993).

No caso da indústria automobilística as premissas de qualidade são embasadas por normas como a PPAP *Production Part Approval Process* (Processo de aprovação de peças produzidas), que é parte integrante da QS9000, e apesar de não haver um valor explícito para Cp e Cpk, as normas relacionadas recomendam a aplicação de sistemas de gerenciamento da qualidade como, por exemplo, a metodologia “Seis Sigmas” (ROSA, 2004).

A figura 15 apresenta a relação entre os níveis de aprovação baseado na variabilidade (quantidade de sigmas).



xσ	C_p	ppm
1σ	0.33	317,000
2σ	0.67	45,500
3σ	1.00	2,700
4σ	1.33	63
5σ	1.67	0,6
6σ	2.00	0,00

ppm= partes por milhão

Figura 15 – Percentual de aprovação e ppm defeituosas

Fonte: MONTGOMERY, 2004 p. 16

Através da análise da Figura 15 é possível notar que quanto maior a quantidade de Sigmas (Desvios Padrão) inseridos dentro do intervalo definido pelos limites de especificação, maior será a quantidade de peças aprovadas.

1.1.6. Lógica Paraconsistente Anotada

A Ciência Lógica é a base e o fundamento da matemática e, portanto, de toda a tecnologia tal como hoje a conhecemos. Muitas das teorias científicas, que criaram a nossa ciência moderna fundamentam-se na Lógica Clássica o que faz com que a maioria dos equipamentos eletrônicos como os computadores e os sistemas digitais utilize seus conceitos como base de seu funcionamento. Ao que tudo indica foi com os trabalhos do filósofo grego Aristóteles, sábio que viveu entre 384 a 322 A.C. na cidade de Estagira, na Macedônia, que teve inicio os estudos da Lógica. O filósofo Aristóteles vivia na busca de um instrumento para a compreensão de um mundo real e verdadeiro. Mais tarde teve os seus trabalhos e de seus discípulos reunidos na obra denominada *Organon*, onde encontramos no capitulo *Analytica Priora* a parte essencial da Lógica (DA SILVA FILHO, 2008).

O raciocínio lógico clássico é fundamentado em quatro princípios que são apresentados por meio de símbolos usualmente empregados na Lógica Clássica. São eles:

1- Princípio da Identidade $p = p$

Toda proposição ou objeto é idêntico a si mesmo.

2- Princípio da Identidade proposicional $p \rightarrow p$

Toda proposição implica nela mesma.

3- Princípio do Terceiro Excluído $p \vee \neg p$

De duas proposições contraditórias, isto é, uma nega a outra, uma delas e verdadeira.

4- Princípio da Não-contradição - $(p \vee \neg p)$

Entre duas proposições contraditórias, uma delas é Falsa.

Dentro deste raciocínio a Lógica Clássica é binária, portanto, uma declaração é falsa ou verdadeira, não admitindo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa (DA SILVA FILHO, 2008).

Dentre as várias idéias no âmbito das Lógicas Não Clássicas criou-se uma família de lógicas que teve como fundamento principal a revogação do principio do terceiro excluído, a qual recebeu o nome de Lógica Paraconsistente. Portanto, a Lógica Paraconsistente é uma Lógica Não clássica que revoga o princípio da Não Contradição e admite o tratamento de sinais contraditórios na sua estrutura teórica (DA SILVA FILHO, 2008).

Junto às noções de Verdade e de Falsidade, permite-se pensar em quatro objetos, ou estados lógicos extremos:

T = Inconsistente

V = Verdadeiro

F = Falso

$\perp$ = Paracompleto ou Indeterminado.

A sentença proposicional é acompanhada de um *grau de evidência* que atribui a conotação de “Verdade”, de “Falsidade”, de “Inconsistência” ou de “Indeterminação” à proposição (DA SILVA FILHO, 2008).

Os estados lógicos Não-Extremos (DA SILVA FILHO, 2008):

$\perp \rightarrow$ f =Indeterminado tendendo ao Falso

$\perp \rightarrow$v = Indeterminado tendendo ao Verdadeiro

T→ f = Inconsistente tendendo ao Falso

T→ v = Inconsistente tendendo ao Verdadeiro

Qv →T = Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente

Qf → T = Quase-falso tendendo ao Inconsistente

Qf → ⊥ = Quase-falso tendendo ao Indeterminado

Qv → ⊥ = Quase-verdadeiro tendendo ao Indeterminado

Os valores das variáveis de entrada são representados por:

μ = Grau de *Evidência favorável*

λ = Grau de *Evidência desfavorável*

Os valores relacionais são (DA SILVA FILHO, 2008):

Gct = Grau de Contradição, onde:

Gct = μ + λ - 1 com 0≤ μ ≤ 1 e 0≤ λ ≤ 1

GC = Grau de Certeza, onde:

GC = μ - λ com: 0≤ μ ≤ 1 e 0≤ λ ≤ 1

As variáveis de controle para recursos de otimização são:

Vscc = Valor Superior de Controle de Certeza.

Vscct = Valor Superior de Controle de Contradição.

Vicc = Valor Inferior de Controle de Certeza.

Vicct = Valor Inferior de Controle de Contradição (DA SILVA FILHO, 2008).

A Figura 16 apresenta um sistema de análise baseado na LPA Lógica Paraconsistente Anotada.

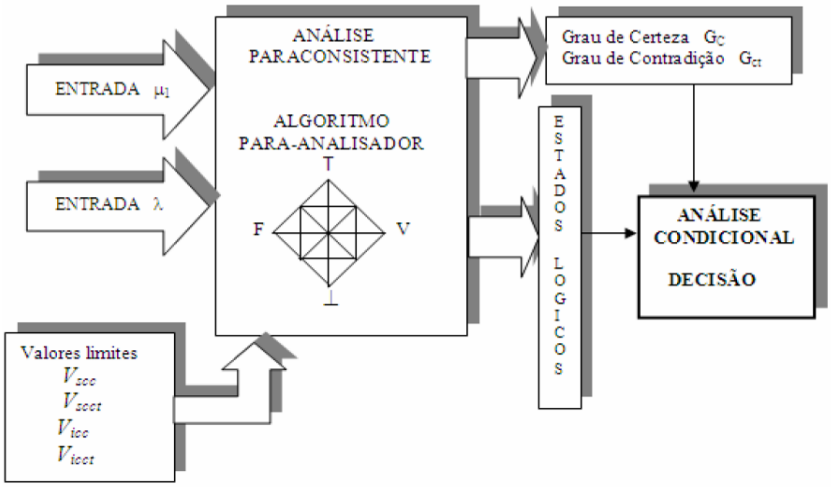


Figura 16 - Representação de um sistema típico de Análise Paraconsistente.

Fonte: DA SILVA FILHO, 2008. p. 33

1.1.6.1. Nós de Analise Paraconsistentes (NAP)

Considera-se um Nó de Análise Paraconsistente como sendo um Sistema de Análise que recebe Graus de Evidências nas suas entradas e fornece dois valores; um que representa o Grau de Certeza Real GCR e outro, o seu Intervalo de Certeza sinalizado φ (DA SILVA FILHO, 2008).

O Nó de Análise Paraconsistente pode ser representado por um diagrama de blocos, conforme é apresentado na Figura 17.

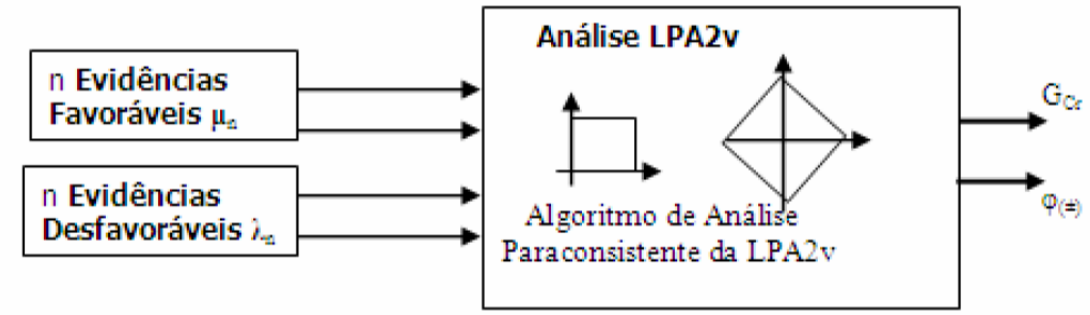


Figura 17 - Representação simbólica de um nó de Análise Paraconsistente típico

Fonte: DA SILVA FILHO, 2008. p. 70

É possível observar na Figura 17 a existência das entradas de grau de evidência, favorável *μ* e desfavorável *λ*, e duas saídas: Grau de Certeza Real (GCR) e o Intervalo de Certeza φ(+-).

Um Nó de análise paraconsistente NAP é construído pelo “Algoritmo de Análise Paraconsistente”, expresso a seguir:

1. Entre com os valores de Entrada

μ */ Grau de Evidência favorável 0 ≤ μ ≤ 1

λ */ Grau de Evidência desfavorável 0 ≤ λ ≤ 1

2. Calcule o Grau de Contradição

Gct = (μ + λ) - 1

3. Calcule o Intervalo de Certeza

φ = 1- |Gct|

4. Calcule o Grau de Certeza

GC = μ - λ

5. Determine o Grau de Certeza real

Se GC > 0 GCr = 1 – (√ (1- |GC|²) + Gct²)

Se GC < 0 GCr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) - 1

6. Determine a sinalização do Intervalo de Graus de Certeza

Se Gct < 0 Sinalize negativo φ(• }) = φ(-)

Se Gct > 0 Sinalize positivo φ(• }) = φ(+)

Se Gct = 0 Sinalize zero φ(• }) = φ(0)

7. Calcule o Grau de Evidência resultante real

μEr = (GCr + 1)/2

8. Apresente os resultados na saída

Faça S1 = μEr e S2= φ(• })

9. Fim

(DA SILVA FILHO, 2008).

1.1.6.2. Rede de Análise Paraconsistente

Uma Rede de Análise Paraconsistente, compõe-se de Nós de Análises Paraconsistentes (NAP) interligados entre si, sendo que, em cada um é efetuado a análise de uma única proposição. Considerando-se que exista uma proposição-objeto P0 e que para se tomar decisão sobre ela sejam necessárias as análises de diversas proposições, cada NAP se ocupará de analisar uma única proposição parcial. Portanto, para se obterem os valores suficientes para a tomada de decisão sobre a proposição-objeto o resultado da análise paraconsistente produzido em cada NAP é combinado com os resultados dos outros NAP. Essas combinações de resultados levam ao estabelecimento de determinado Grau de Certeza à Proposição-objeto, que é a meta final da análise efetuada pela rede (DA SILVA FILHO, 2008).

A Figura 18 mostra um modelo de Rede de Análise Paraconsistente de Configuração Simples (RAPcs). Neste modelo a Proposição-objeto de saída P*0* é analisada a partir das informações dadas pelas evidências *μEr1* e *μEr2*, que chegam após as análises paraconsistentes das Proposições P*1* e P*2* efetuadas pelos NAP.

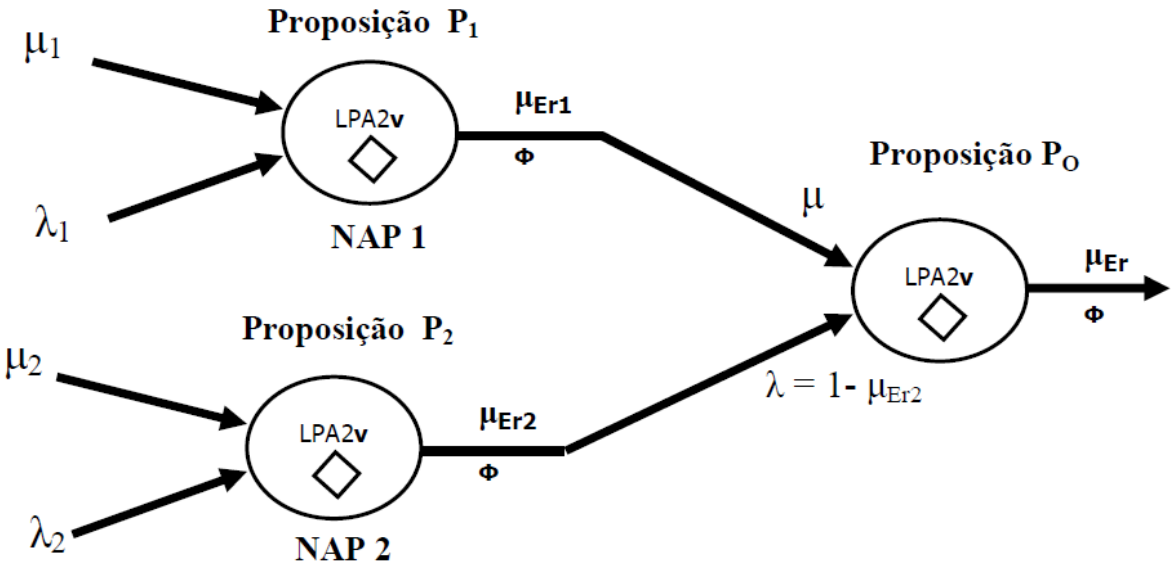


Figura 18– Representação de uma modelagem de uma rede de Análise Paraconsistente

Fonte: DA SILVA FILHO, 2008. p. 104

1.1.7. Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada na Metrologia.

Mario et. al. (2012) aborda as Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes aplicadas na extração de dimensões físicas de objetos em imagens fotográficas digitais.

A Lógica Paraconsistente Anotada foi utilizada para prover maior precisão na obtenção das medidas a partir de fotografias, mais precisamente na obtenção das dimensões de árvores e objetos de geometria complexa. Através da relação entre *pixels*, milímetros e as interações do usuário com o *mouse* são delimitados as áreas a ser dimensionadas, porém este processo pode apresentar algumas inconsistências que precisam ser tratadas (MARIO, et al. 2012).

A Figura 19 ilustra a aplicação de seleção da cota a ser medida, pela iteração do usuário com o *mouse* a partir da foto da árvore.

Figura 19 – Foto digital da árvore para objeto de estudo

Fonte: MARIO, et al. 2012, p. 5

O modelo Paraconsistente computacional apresentado indica que este conceito de captura de dimensões físicas de objetos geométricos complexos, baseado em análise digital de imagens com tratamento de sinais através das RNAPs (Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes), se mostra um promissor campo de desenvolvimento e pesquisa, não somente nas áreas citadas, mas com amplas possibilidades de utilização nas engenharias e nas ciências de computação, campo do conhecimento estes que tratam de metrologia por imagens e visão computacional (MARIO, et al. 2012).

1.2. Aplicações e Revisão da Literatura

A eficiência na tomada de decisões coloca em evidência, no mundo acadêmico, a abordagem de diversos pesquisadores pela busca de técnicas e metodologias para tratativa dos dados de medições. Este capítulo aborda algumas aplicações que visam maximizar a eficiência de controles e medições em diversos segmentos da manufatura.

1.2.1. Estabilidade dimensional de carrocerias através do pré-controle

Sanches Junior (2007) aborda a estabilidade dimensional de carrocerias automotivas através do pré-controle aplicado no processo de junção de subconjuntos.

O pré-controle utiliza uma divisão de faixa de especificação, adotando regiões verde, amarela e vermelha, que dão ao operador uma resposta imediata se o ponto avaliado está ou não dentro do especificado (SANCHES JUNIOR, 2007).

De acordo com Sanches Junior (2007) o pré-controle torna desnecessário o uso de gráficos complexos ou cálculos como ocorrem no controle estatístico. O foco do pré-controle é detectar não-conformidades em relação às especificações sem fazer qualquer relação com os limites de controle praticados na análise estatística.

A proposta de Sanches Junior (2007) inclui também a categorização dos pontos medidos por zonas de especificação e pré-controle:

LSE: Limite Superior de Especificações; LIE: Limite Inferior de Especificações;
LSPC: Limite Superior de Pré-Controle; LIPC: Limite Inferior de Pré-Controle;

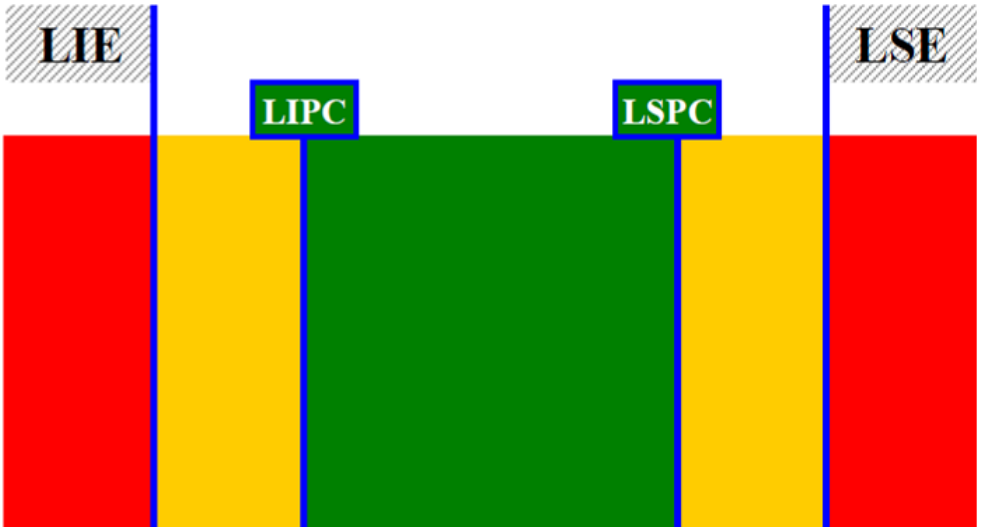


Figura 20 – Limites de especificação e limites de pré-controle.

Fonte: SANCHES JUNIOR, 2007, p.11

Sanches Junior (2007) também estabelece uma sistemática de tomada de decisão. São contadas cinco peças e se as medições destas peças se concentram na área verde então o processo é qualificado como “em ordem”, se ocorrerem duas amostras na zona amarela o processo deve ser ajustado e se os desvios estão na zona vermelha isto indica uma maior criticidade na priorização das ações.

1.2.2. Gráficos adaptativos de controle

Epprecht (2005) aborda os gráficos de controle de processo com parâmetros variáveis, ou gráficos adaptativos, que permitem intensificar ou relaxar o controle do processo de acordo com a informação da amostra mais recente.

Nesta proposta os parâmetros adaptativos são: tamanho da amostra, o intervalo de tempo entre as amostras e os limites adaptáveis de controle.

Basicamente o “sistema” identifica indícios de que o processo está fora de controle, e quando detectados estes indícios, então o sistema intensifica os parâmetros de amostragem, reduzindo o tempo entre as amostras, ou mesmo aplica limites de advertência mais restritos, tornando assim o sistema mais sensível às alterações do processo (EPPRECHT, 2005).

Por outro lado, se não houver suspeitas de que o processo está fora de controle o monitoramento pode ser relaxado, na prática significa um intervalo de tempo maior entre as amostras (EPPRECHT, 2005).

Esta técnica remete a uma forte análise histórica do elemento controlado, exigindo monitoramento da freqüência das não-conformidades, na prática cada amostra poderá ser diferentemente categorizada e tratada (EPPRECHT, 2005). A Figura 21 apresenta o gráfico de monitoramento com duas escalas.

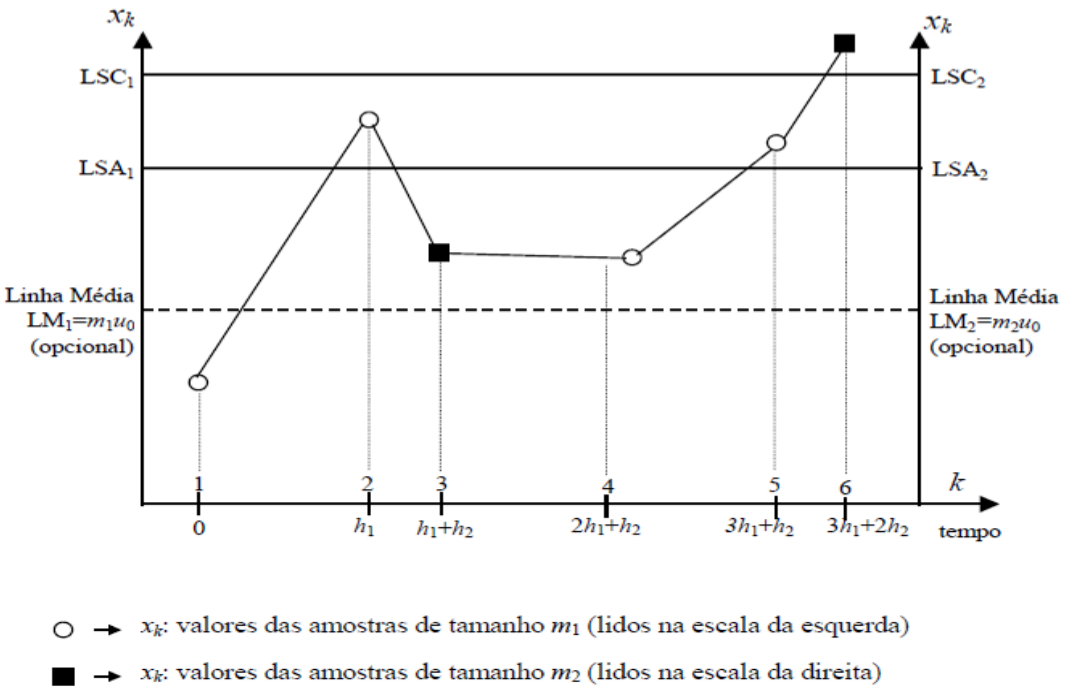


Figura 21 – Gráfico de Controle adaptativo.

Fonte: EPPRECHT, 2005, p. 116

Outra possibilidade é o ajuste de parâmetros à critérios ligados a quantidade de peças defeituosas que podem ser ligadas aos cálculos de probabilidade estatística (EPPRECHT, 2005).

1.2.3. Controle de Qualidade através dos dados dimensionais de alta densidade

Wells (2014) aborda o Controle de Qualidade da manufatura através do uso de recursos avançados de obtenção dos dados dimensionais de alta densidade.

A proposta baseia-se na utilização das técnicas tridimensionais (3D) *Laser Scanning* como alternativa para controle dimensional das cotas significantes para a carroceria automotiva (WELLS, 2014).

Na metrologia convencional por MMC (Máquina de Medir por Coordenadas), o resultado da medição de um ponto remete à informação individual do ponto apalpado, fato este que favorece a compilação das diversas medições realizadas neste ponto distinto em um intervalo de tempo, por outro lado na medição por *Laser Scanning* milhões de pontos são avaliados em uma única superfície, isto pode significar um desafio para o controle estatístico de processo para se determinar quais destes milhões de pontos serão utilizados para o controle.

Esta técnica remete em uma conversão dos dados gerados pelo equipamento de *Laser Scanning* definidos como “nuvens de pontos” em um formato que viabiliza o monitoramento da manufatura por técnicas de controle estatístico de processo (WELLS, 2014).

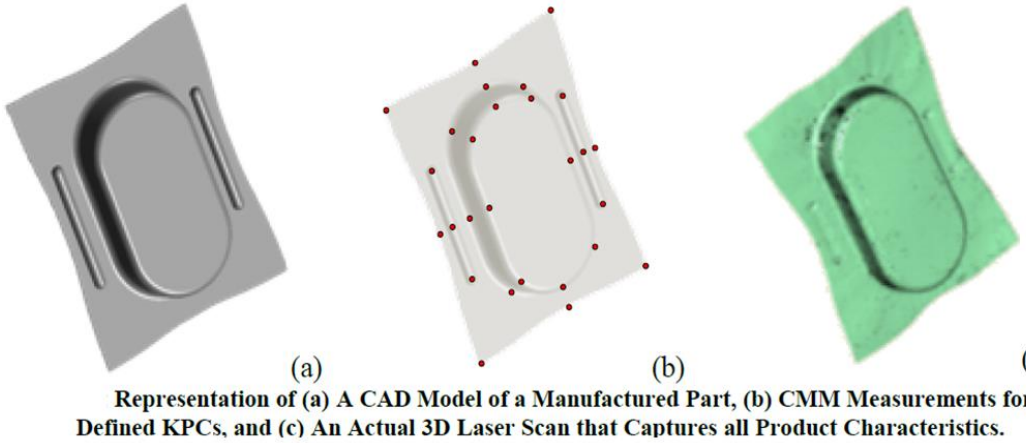


Figura 22 – (a) Representação do CAD, (b) Pontos de medição da MMC, (c) 3D Nuvem de Pontos *Laser Scanner*

Fonte: WELLS, 2014, p. 6

O cerne da proposta remete a três passos distintos:

Passo 1: Racionalização dos dados e segregação do elemento medido por superfícies;

Passo 2: Derivação matemática dos parâmetros das superfícies digitalizadas em vetores de desvios que indicam o deslocamento da superfície em relação à sua posição teórica;

Passo 3: Parametrização dos dados para monitoramento das superfícies em cartas de controle;

Executados os três passos o controle da qualidade basta seguir as bases convencionais do controle estatístico de processo (WELLS, 2014).

1.2.4. Escala de capacidade na medição e controle de desempenho estratégico

Sellito (2005) aborda a medição e controle de desempenho estratégico em sistemas de manufatura, nesta pesquisa o foco da medição são indicadores de desempenho ligados a estratégias coorporativas, e o objetivo é chegar a uma estrutura flexível de medição e controle de desempenho que acompanhe mudanças de cenários e fatores de competição, para que se atinjam os objetivos.

Neste caso as medições estão interligadas aos fatores do processo de manufatura a partir do seguinte princípio que a manufatura se relaciona com o meio pela importação de informação, energia e materiais e exporta produtos, informações e serviços (SELLITO, 2005).

A metodologia definida por Sellito (2005) baseia-se em aproximações e pré-controle das métricas, tal que a proposta indica seis passos distintos:

Passo 1: Identificar a estratégia pré-existente de manufatura;

Passo 2: Definir indicadores e importâncias relativas;

Passo 3: Medição dos indicadores e categorização do desempenho;

Passo 4: Execução do pré-controle;

Passo 5: Priorização da execução estratégica;

Passo 6: Executar e monitorar o resultado da ação;

O Passo 4 é o cerne da proposta, que define para cada item avaliado a capacidade de atingir as metas. A partir da situação atual, a capacidade é categorizada entre 0 e 1, e a escala dividida em cinco níveis de desempenho. Para

cada nível é atribuído um peso e uma pontuação diferenciada, conforme pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 1 – Categorização de desempenho e pontuação atribuída

categoria	desempenho no item	pontuação
péssima	0%	1
ruim	25%	2
média	50%	3
boa	75%	4
ótima	100%	5

Fonte: SELLITO, 2005, p. 102

A partir da categorização da capacidade por desempenho e pontuação é possível viabilizar a tomada de decisões e priorização das ações (SELLITO, 2005).

1.2.5. Controle estatístico de processo na manufatura

Pires (2000) aborda uma solução para análise e tomada de decisões, a partir da tratativa das medições pela implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz.

A base da proposta aponta a variância como métrica para avaliar a qualidade de cada posto de trabalho. Usando para tal, cartas de controle para designar se um processo está “em controle” ou “fora de controle” (PIRES 2000).

A implantação do controle estatístico de processos pressupõe a definição de um projeto amplo que envolve os diversos níveis da organização, destacam-se as seguintes etapas:

- Definição do projeto;
- Definição do escopo;
- Definição de uma equipe de trabalho;
- Desdobramento das características significativas da qualidade;
- Desdobramento dos processos chaves;
- Identificação dos postos de controle;
- Definição dos procedimentos de coleta de dados;

- Avaliação do sistema de medição;
- Definição da documentação necessária;
- Treinamento de todos os envolvidos em controle estatístico de processos;
- Período de inicio da coleta de dados e monitoramento;
- Cálculo dos limites de controle;
- Rotina de acompanhamento e consolidação das cartas de controle;

A Figura 23 apresenta o modelo de carta de controle utilizado por Pires (2000).

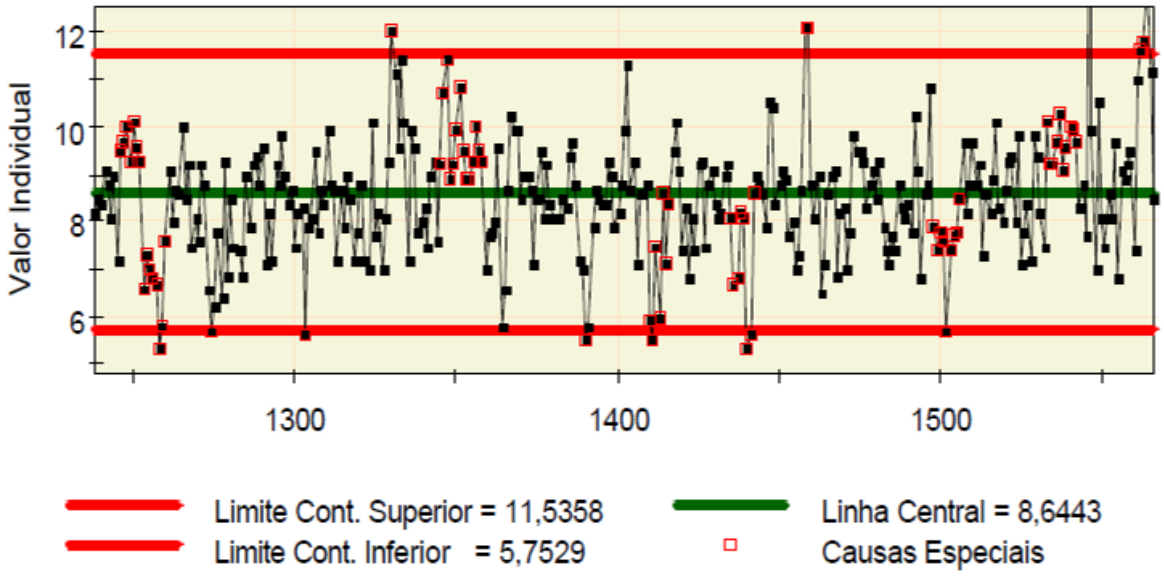


Figura 23 – Carta de controle estatístico de processo

Fonte: PIRES, 2000, p. 85

De acordo com a proposta de Pires (2000), cabe ao operador a visualização de pontos fora dos limites de controle, ou mesmo identificar padrões cíclicos, mudanças de média, tendências, e também definir se estas anomalias estão associadas a causas especiais.

2. OBJETIVOS

Conforme já mencionado no capítulo anterior, um dos fatores que definem qualidade na indústria automobilística é a capacidade do processo produtivo em manter as características relevantes dentro das especificações, porém o resultado obtido a partir da medição traz a informação individual daquela carroceria medida.

O problema está no fato de que em função da variação natural do processo, as análises baseadas em uma amostra podem não refletir o comportamento real da população envolvida, ou ainda, podem promover decisões errôneas que afetam de forma negativa uma parte considerável desta população. Este risco pode ser minimizado quando os dados obtidos com as medições são acompanhados e analisados com parâmetros estatísticos de exatidão e precisão, porém as diferentes técnicas de análise podem trazer conclusões e resultados contraditórios.

O Objetivo geral deste trabalho é:

- Definir a partir da Lógica Paraconsistente Anotada uma metodologia de análise dimensional para as cotas de controle das carrocerias automotivas, gerando como produto final um índice limite que determina o nível em que as cotas estão aprovadas, bem como, assumir uma situação de reprovação para valores inferiores ao índice limite;

Os Objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar a configuração de uma Rede de Análise Paraconsistente, visando obter através dos Nós de Análise, a interação entre os índices de Precisão (Cp), Exatidão (Cpk) e Atendimento as Especificações (Média);
- Definir uma técnica de extração dos Graus de Evidência para os requisitos de Precisão (Cp), Exatidão (Cpk) e Atendimento às Especificações (Média);

Outro objetivo importante a ser considerado é a aplicação desta proposta no ambiente fabril, gerando a oportunidade de reprodução desta ferramenta de análise dimensional na manufatura de peças, carrocerias e demais subprodutos do segmento automobilístico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os capítulos anteriores trouxeram além de uma descrição conceitual, os subsídios necessários para embasar a proposta do presente trabalho.

Os elementos e requisitos necessários para a construção desta metodologia e algoritmo estão expressos a seguir.

3.1. Materiais

A proposta deste trabalho foi colocada em prática no ambiente fabril, em uma montadora de veículos automotores brasileira, fato este que favoreceu o acesso aos requisitos necessários de infraestrutura e amostragem, designados e listados neste capítulo como materiais, sendo:

- População e amostra: As Carrocerias automotivas;
- Sala de Medição e Máquina de Medição por Coordenadas MMC;
- Programa CNC dos Pontos de Controle;
- Relatórios Individuais das Carrocerias Medidas;

3.1.1. População e amostra: Carrocerias automotivas

A população estudada neste trabalho são as carrocerias automotivas, que neste caso são de um modelo Hatchback compacto, do qual são produzidas aproximadamente 750 unidades por dia.

Diariamente são realizadas as medições das carrocerias de acordo com um cronograma que estabelece uma quantidade média de duas amostras por turno, totalizando seis carrocerias medidas por dia (produção ocorre em três turnos de trabalho).

3.1.2. Sala de Medição e Máquina de Medição por Coordenadas MMC

O instrumento de medição utilizado para a coleta dos dados dimensionais é uma MMC Máquina de Medir por Coordenadas do fabricante Alemão Mora e modelo Mμtos, com precisão de 0,06mm, calibrada conforme norma DIN ISO 10360-2.

Este equipamento está inserido em um ambiente com temperatura de 20°C +/- 2°C e umidade relativa do ar de 35% a 55%, conforme recomendações do fabricante.

A coleta dos dados dimensionais da carroceria ocorre através da apalpação das superfícies e formas geométricas definidas como pontos de controle da carroceria.

A figura 24 ilustra uma carroceria automotiva durante a execução da medição por uma MMC.

Figura 24 – Medição da carroceria automotiva

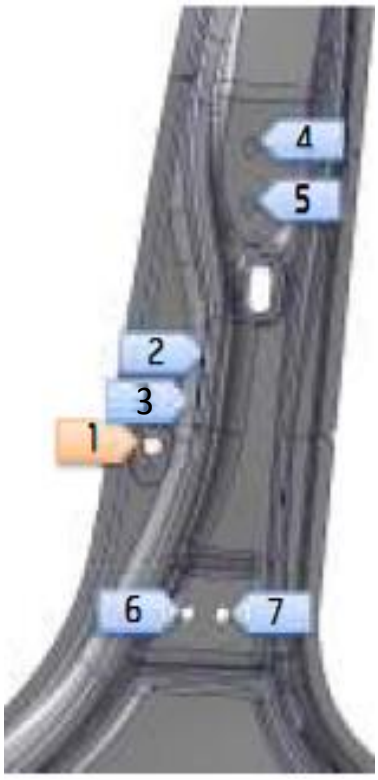
Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

3.1.3. Programa CNC dos pontos de controle

Os pontos de controle permitem avaliar o produto nas regiões e características relevantes para a montagem, funcionalidade, ou mesmo para assegurar a qualidade.

No caso desta montadora, a carroceria automotiva estudada possui 1957 pontos de medição e controle. Neste plano de controle estão contemplados os pontos internos de fixação de revestimentos, pontos de fixação do motor, conjunto motriz, região externa de montagem de portas, tampas, para-choques, faróis, lanternas além de pontos para avaliar a harmonia da geometria da carroceria.

Na figura 25, são exemplificados alguns dos pontos de controle definidos para esta carroceria automotiva.



CHK item	SPEC		LH	RH	TOL -	TOL +
1	OTR SD TOOLG	X	1370,0	1370,0	1,0	1,0
		Y	-697,7	697,7	1,5	1,5
		Z	394,0	394,0	1,0	1,0
2	DR STRIKER	X	1410,2	1410,2	1,2	1,2
		Y	-742,3	742,3	1,2	1,2
		Z	460,1	460,1	1,2	1,2
3	DR STRIKER 2	X	1406,7	1406,7	1,2	1,2
		Y	-743,7	743,7	1,2	1,2
		Z	433,3	433,3	1,2	1,2
4	DR HINGE	X	1453,4	1453,4	1,2	1,2
		Y	-744,1	744,1	1,2	1,2
		Z	629,1	629,1	1,2	1,2
5	DR HINGE 2	X	1450,6	1450,6	1,2	1,2
		Y	-746,4	746,4	1,2	1,2
		Z	584,3	584,3	1,2	1,2
6	DR HINGE 3	X	1399,1	1399,1	1,2	1,2
		Y	-756,9	756,9	1,2	1,2
		Z	259,5	259,5	1,2	1,2
7	DR HINGE 4	X	1429,1	1429,1	1,2	1,2
		Y	-757,0	757,0	1,2	1,2
		Z	257,6	257,6	1,2	1,2

Figura 25 – Pontos de controle da carroceria automotiva

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

No plano de controle ilustrado na figura 25, as setas com números indicam o elemento a ser medido. Cada ponto de controle possui uma especificação de identificação definida como *“Spec”*, com sua respectiva coordenada nominal (valor alvo) em comprimento (X), largura (Y) e altura (Z), os limites de especificação inferior e superior neste caso são as tolerâncias, denotadas pelos sinais de “+” quando positivas e **“-”** quando negativas.

A máquina de medição executa um programa CNC, que contempla os pontos de controle, e através de deslocamento sem comprimento, largura e altura o apalpador realiza o “toque” na superfície a ser medida. Sensores inseridos dentro do apalpador fazem a leitura dos deslocamentos realizados e registram a posição real da superfície apalpada. Ao finalizar uma apalpação o programa CNC emite um novo comando de deslocamento e outro ponto de controle também é coletado e registrado, e assim sucessivamente.

3.1.4. Relatórios individuais das carrocerias medidas

O relatório de medição é o produto final de todo este aparato tecnológico que a indústria automobilística utiliza para assegurar a qualidade.

Este relatório geralmente é um arquivo em formato texto, onde estão disponíveis informações, como por exemplo: o nome do ponto medido, valor nominal (alvo), valor encontrado e especificação de engenharia (superior e inferior).

A figura 26 apresenta um trecho do relatório de medição com a informação de um ponto medido, gerado após a execução da medição por um programa CNC de uma carroceria automotiva.

A17 - H/LAMP MTG RH;Measured sphere;

Nominal;	Actual;	Deviation;	Lower tol.;	Upper tol.;	Out of tol.;	Trend;
X;4.500;	5.362;	0.862;	-1.500;	1.500;	0.000;	____+++_;
Y;682.000;	682.512;	0.512;	-1.500;	1.500;	0.000;	____++__;
Z;572.829;	571.887;	-0.943;	-1.200;	1.200;	0.000;	----____;

Figura 26 – Informações de um ponto no relatório dimensional

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

A figura 27 apresenta o mesmo trecho do relatório de medição, com notas explicativas dos campos principais.

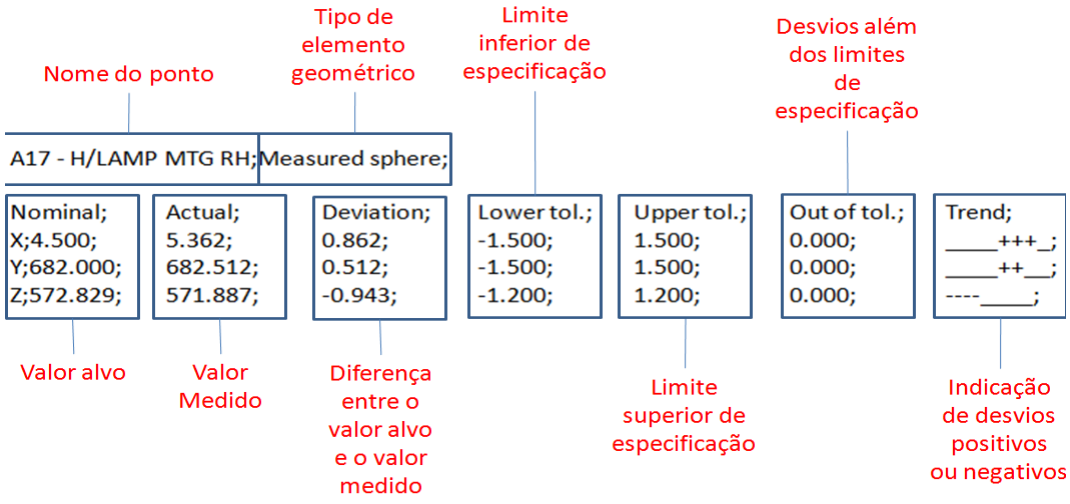


Figura 27 – Explicação do relatório dimensional

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

Pode-se verificar pela figura 27, que o relatório dimensional traz a informação de somente uma amostra. Esta informação não é suficiente para uma análise de tendência ou mesmo monitorar a capacidade do processo em atender as especificações.

3.2. Método

O algoritmo responsável pelo processamento dos dados baseia-se na Lógica Paraconsistente Anotada, que trata os Graus de evidência favoráveis e desfavoráveis, com valores representados em um intervalo fechado do conjunto dos números reais entre 0,0 e 1,0.

A proposta deste trabalho envolve a criação de uma técnica de extração dos Graus de Evidência para a Média, Cp e Cpk, tal que estes dados normalizados darão origem a três índices Paraconsistentes:

- IPAE – Índice Paraconsistente de Atendimento às Especificações;
- IPP – Índice Paraconsistente de Precisão;
- IPE – Índice Paraconsistente de Exatidão;

As proposições serão consideradas favoráveis quando os resultados sinalizarem conformidade às especificações, e o grau máximo de uma proposição favorável será 1,0 (um), e o grau máximo desfavorável será 0,0 (zero).

Os próximos itens apresentam a técnica proposta para definir estes graus de evidência. As etapas necessárias para tal estão seqüenciadas conforme listado a seguir:

- Definição da base estatística;
- Extração dos graus de evidência da Média (IPAE);
- Extração dos graus de evidência de Cp (IPP);
- Extração dos graus de evidência de Cpk (IPE);
- Definição do algoritmo em LPA para análise dos resultados;

3.2.1. Definição da base estatística

A base estatística do presente trabalho é composta pela medição dos 1957 pontos controlados de 90 carrocerias que foram agrupadas em uma planilha, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de medição das 90 carrocerias

PONTO	NOME DO PONTO	Axis	Nominal	LIE	LSE	1	2	3	4	• • •	89	90
1	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	X	-535,20	-1,20	1,20	1,14	0,85	0,54	0,88		-0,47	-0,50
2	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Y	452,00	-1,50	1,50	-0,54	-0,19	-0,02	-0,11		-0,33	-0,35
3	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Z	369,00	-1,20	1,20	0,27	0,88	1,04	0,76		-0,19	-0,24
4	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	X	-535,20	-1,20	1,20	0,84	0,60	0,41	0,81		-0,33	-0,35
5	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Y	475,00	-1,50	1,50	-0,02	-0,04	0,17	0,12		-0,32	-0,34
6	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Z	369,00	-1,20	1,20	0,43	0,91	1,04	0,89		-0,01	-0,02
7	A04 - H/LAMP MTG RH	X	-535,20	-1,20	1,20	0,70	0,54	0,29	1,12		0,10	0,09
8	A04 - H/LAMP MTG RH	Y	508,00	-1,20	1,20	-0,40	-0,51	-0,13	-0,18		-0,57	-0,56
9	A04 - H/LAMP MTG RH	Z	371,00	-1,20	1,20	-0,69	0,05	0,05	-0,04		-0,82	-0,82
10	A05 - BPR BRKT MTG RH	X	-545,75	-1,20	1,20	1,95	1,84	1,47	1,76		0,43	0,39
•											•	
•											•	
•											•	
1956	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Y	-740,10	-1,50	1,50	0,46	0,83	0,63	0,64		0,25	0,26
1957	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Z	647,71	-1,50	1,50	0,16	0,01	-0,15	0,13		0,11	0,12

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

Na tabela 2, a primeira coluna representa a seqüência dos itens; a segunda coluna representa o nome do ponto, a coluna denominada “Axis” representa o eixo do sistema cartesiano, onde: “X” =Comprimento, “Y” =Largura e “Z” =Altura; a coluna “Nominal” representa o Valor Alvo de cada eixo; as colunas “LIE” e “LSE” representam os limites de especificação inferior e superior, nas demais colunas estão plotados os desvios encontrados para cada ponto medido nas carrocerias identificadas e ordenadas de 1 a 90.

Os índices estatísticos de Cp e Cpk implicam no cálculo prévio do Desvio Padrão Estimado (σ).

O Desvio Padrão Estimado, tem como pré-requisito um subgrupo amostral n>1. Neste trabalho o subgrupo tem tamanho n=3, ou seja, cada amostra corresponde à média e amplitude de três carrocerias medidas, transformando assim os dados das 90 carrocerias em 30 amostras.

Na Tabela 3 cada amostra representa a média de 3 carrocerias.

Tabela 3 – Média dos subgrupos

MÉDIAS DOS SUB-GRUPOS (CADA AMOSTRA É A MÉDIA DE 3 MEDIÇÕES)

PONTO	NOME DO PONTO	Axis	LIE	LSE	1	2	3	4	...	29	30	MÉDIA DAS MÉDIAS
1	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	X	-1,20	1,20	0,84	1,07	0,10	0,34		-0,33	-0,49	-0,15
2	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Y	-1,50	1,50	-0,25	-0,16	-0,19	-0,26		-0,16	-0,34	-0,34
3	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Z	-1,20	1,20	0,73	0,81	0,54	1,11		0,12	-0,20	0,72
4	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	X	-1,20	1,20	0,62	1,04	0,04	0,35		-0,18	-0,35	-0,05
5	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Y	-1,50	1,50	0,04	0,15	0,00	-0,09		-0,02	-0,34	-0,22
6	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Z	-1,20	1,20	0,79	0,99	0,51	1,10		0,31	-0,02	0,81
7	A04 - H/LAMP MTG RH	X	-1,20	1,20	0,51	1,26	0,10	0,45		0,20	0,09	0,23
8	A04 - H/LAMP MTG RH	Y	-1,20	1,20	-0,34	0,00	-0,24	-0,41		-0,23	-0,58	-0,97
9	A04 - H/LAMP MTG RH	Z	-1,20	1,20	-0,20	-0,14	-0,41	0,00		-0,45	-0,84	-0,22
10	A05 - BPR BRKT MTG RH	X	-1,20	1,20	1,75	1,95	1,08	1,30		0,57	0,40	0,77
⋮											⋮	
1956	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Y	-1,50	1,50	0,64	0,78	0,79	0,85	...	0,25	0,25	0,47
1957	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Z	-1,50	1,50	0,01	0,01	0,19	0,09		0,10	0,11	0,02

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

Na tabela 4 cada amostra representa a amplitude 3 carrocerias.

Tabela 4 – Amplitude dos subgrupos

AMPLITUDE
A AMPLITUDE DE CADA AMOSTRA REPRESENTA A DIFERÊNÇA ENTRE
O VALOR MÍNIMO E MÁXIMO DE CADA SUBGRUPO (N=3)

PONTO	NOME DO PONTO	Axis	LIE	LSE	1	2	3	4	...	29	30	MÉDIA DAS AMPLITUDES
1	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	X	-1,20	1,20	0,60	0,36	0,69	0,55		0,18	0,05	0,67
2	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Y	-1,50	1,50	0,52	0,12	0,16	0,70		0,15	0,03	0,35
3	A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Z	-1,20	1,20	0,77	0,73	0,13	0,34		0,79	0,06	0,68
4	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	X	-1,20	1,20	0,43	0,51	0,65	0,47		0,09	0,04	0,59
5	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Y	-1,50	1,50	0,21	0,22	0,33	0,67		0,35	0,02	0,34
6	A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Z	-1,20	1,20	0,61	0,45	0,30	0,40		0,50	0,03	0,57
7	A04 - H/LAMP MTG RH	X	-1,20	1,20	0,41	1,00	0,47	0,45		0,01	0,03	0,51
8	A04 - H/LAMP MTG RH	Y	-1,20	1,20	0,39	0,30	0,10	0,49		0,20	0,04	0,49
9	A04 - H/LAMP MTG RH	Z	-1,20	1,20	0,74	0,21	0,75	0,29		0,36	0,05	0,69
10	A05 - BPR BRKT MTG RH	X	-1,20	1,20	0,48	0,41	0,65	0,67		0,18	0,05	0,70
⋮											⋮	
1956	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Y	-1,50	1,50	0,37	0,27	0,08	0,20	...	0,14	0,03	0,31
1957	H70 - HOOD MATCHING 8 LH	Z	-1,50	1,50	0,31	0,24	0,45	0,33		0,04	0,01	0,25

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

Após o cálculo da média, amplitude e desvio padrão estimado, é possível também calcular o Cp (eq.1) e o Cpk (eq.2), conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Média, Amplitude, Desvio Padrão, Cp e Cpk

NOME DO PONTO	Axis	LIE	LSE	MÉDIA DAS AMPLITUDES	MÉDIA DAS MÉDIAS	σ DESVIO PADRÃO ESTIMADO	CP	CPK
A02 - RAD UPR MTG 2 RH	X	-1,20	1,20	0,67	-0,15	0,40	1,01	0,89
A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Y	-1,50	1,50	0,35	-0,34	0,21	2,39	1,84
A02 - RAD UPR MTG 2 RH	Z	-1,20	1,20	0,68	0,72	0,40	1,00	0,40
A03 - RAD UPR MTG 3 RH	X	-1,20	1,20	0,59	-0,05	0,35	1,15	1,10
A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Y	-1,50	1,50	0,34	-0,22	0,20	2,50	2,13
A03 - RAD UPR MTG 3 RH	Z	-1,20	1,20	0,57	0,81	0,34	1,18	0,38
A04 - H/LAMP MTG RH	X	-1,20	1,20	0,51	0,23	0,30	1,33	1,07
A04 - H/LAMP MTG RH	Y	-1,20	1,20	0,49	-0,97	0,29	1,37	0,27
A04 - H/LAMP MTG RH	Z	-1,20	1,20	0,69	-0,22	0,41	0,99	0,80
A05 - BPR BRKT MTG RH	X	-1,20	1,20	0,70	0,77	0,41	0,97	0,35
A05 - BPR BRKT MTG RH	Y	-1,20	1,20	0,31	-0,43	0,18	2,19	1,40
A05 - BPR BRKT MTG RH	Z	-1,20	1,20	0,58	-0,38	0,34	1,16	0,80
BPR BRKT MTG RH 6	X	-1,20	1,20	0,67	-0,93	0,40	1,01	0,23
BPR BRKT MTG RH 6	Y	-1,20	1,20	0,31	-0,50	0,18	2,18	1,28
BPR BRKT MTG RH 6	Z	-1,20	1,20	0,59	-0,29	0,35	1,15	0,87
A07 - BPR MTG 2 RH	X	-1,20	1,20	0,75	-0,48	0,44	0,91	0,55
A07 - BPR MTG 2 RH	Y	-1,20	1,20	0,36	-0,23	0,21	1,89	1,53

Fonte: Acervo do Controle de Qualidade da montadora

As informações estatísticas servirão de base para extração e definição dos graus de evidência favoráveis e desfavoráveis do algoritmo proposto por este trabalho.

3.2.2. Extração dos graus de evidência da Média (IPAE);

A análise das especificações é abordada neste trabalho, com uma proposta de utilização de um Índice Paraconsistente de Atendimento às Especificações (IPAE), a partir dos dados das 30 amostras disponíveis na tabela.

Seguindo a lógica proposta, os graus de evidência precisam ser normalizados para que a variação esteja representada em um intervalo fechado do conjunto dos números reais entre 0 e 1.

Este índice receberá valor 1,0 (um) quando o valor encontrado na medição for igual ao valor alvo. Quanto mais distante do valor alvo, menor será o índice, podendo assumir valor 0,0 (zero) quando os valores encontrados não estiverem enquadrados dentro dos limites de especificações.

Matematicamente o Índice Paraconsistente de Atendimento às Especificações é obtido a partir da fórmula apresentada na Figura 28.

$$IPAE = 1 - \{ D / [(LSE - LIE)/2] \} \quad \text{(eq.5)}$$

Figura 28 – Fórmula de IPAE- Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações

Sendo: IPAE = Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações; D = Média dos Desvios encontrados em 30 amostras; LSE = Limite Superior de Especificação; LIE = Limite Inferior de Especificação.

A Figura 29 ilustra através de um exemplo hipotético de especificações e desvios, a relação do IPAE com os limites e desvios encontrados.

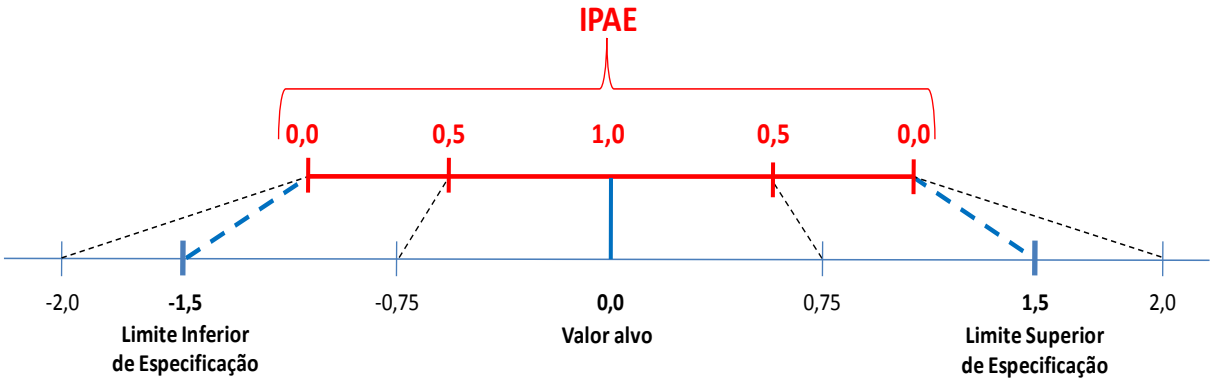


Figura 29 – Relação do Índice Paraconsistente de Atendimento as Especificações com os limites

Esta transformação é inspirada nos passos de normalização aplicados à Lógica Paraconsistente Anotada na conversão do Grau de Certeza Gc em grau de evidência resultante μE, conforme Da Silva Filho (2008).

O índice IPAE considera a comparação simples da média das 30 amostras com os limites de especificação, porém não considera o comportamento histórico de variabilidade dos desvios encontrados.

O tratamento estatístico sobre as amostras é considerado neste trabalho pelos índices IPP (Índice Paraconsistente de Precisão) e IPE (Índice Paraconsistente de Exatidão).

3.2.3. Extração dos graus de evidência de Cp (IPP)

Nesta proposta a comparação da variabilidade com as especificações do produto se dá a partir da técnica estatística RCP (Razão da Capacidade do Processo). A base estatística é a tabela com as 30 amostras, onde é realizado o cálculo individual para cada cota, de acordo com a fórmula de Cp (eq.1).

Seguindo a lógica paraconsistente, os graus de evidência precisam ser normalizados para que a variação esteja representada em um intervalo fechado do conjunto dos números reais entre 0 e 1.

No presente trabalho adotaram-se os requisitos do PPAP *Production Part Approval Process* (Processo de aprovação de peças produzidas), estabelecidos pela montadora, que equivale à Cp >= 1,33 como índice de Aprovação e os valores no intervado de Cp >=1,0 à Cp <=1,32 como Aprovados Condicionalmente, ou seja, neste caso as peças são aprovadas para consumo, entretanto podem ser necessárias ações e intervenções no processo produtivo para reduzir variabilidade.

O Índice Paraconsistente de Precisão (IPP) é gerado a partir da correlação do valor encontrado de Cp, com o parâmetro de PPAP de 1,33.

Matematicamente o Índice Paraconsistente de Precisão (IPP) é definido pela fórmula apresentada na Figura 30:

$$IPP = (Cp / 1{,}33) \qquad \text{(eq.6)}$$

Figura 30 – Fórmula de IPP – Índice Paraconsistente de Precisão

A figura 31 ilustra a relação entre a razão de capacidade potencial do processo (Cp) e o Índice Paraconsistente de Precisão.

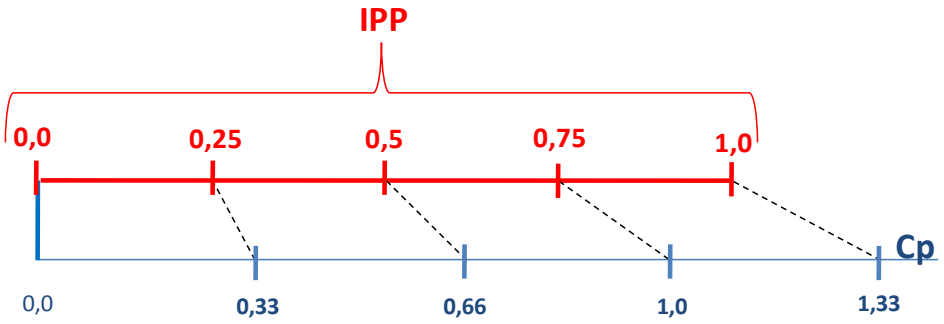


Figura 31 – Relação do Índice Paraconsistente de Precisão (IPP) com a Razão de Capacidade Potencial do Processo (Cp)

Esta transformação é inspirada nos passos de normalização aplicados à Lógica Paraconsistente Anotada na conversão do Grau de Certeza Gc em grau de evidência resultante μE, conforme Da Silva Filho (2008).

Para valores de Cp > 1,33 o Índice Paraconsistente de Precisão (IPP), assume o valor máximo de Grau de Evidência Favorável, ou seja, 1,0 (um).

3.2.4. Extração dos graus de evidência de Cpk (IPE)

O Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) é baseado no Cpk (eq.2), que é a técnica estatística para determinar o quanto a média e a variabilidade do processo está centralizada ou deslocada em relação aos limites de especificação.

A base estatística é a tabela com as 30 amostras, onde é realizado o cálculo individual para cada cota, de acordo com a fórmula de Cpk (eq.2):

De maneira análoga ao Índice Paraconsistente de Precisão (IPP), o Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) é gerado a partir da correlação do valor encontrado de Cpk.

Seguindo a lógica proposta, os graus de evidência precisam ser normalizados para que a variação esteja representada em um intervalo fechado do conjunto dos números reais entre 0,0 e 1,0.

No presente trabalho adotaram-se os requisitos do PPAP *Production Part Approval Process* (Processo de aprovação de peças produzidas), estabelecidos pela montadora, que equivale à Cpk >= 1,33 como índice de Aprovação e os valores no intervalo de Cpk >=1,0 à Cpk <=1,32 como Aprovados Condicionalmente, ou seja, neste caso as peças são aprovadas para consumo, entretanto podem ser necessárias ações e intervenções no processo produtivo para reduzir a variabilidade ou corrigir deslocamentos em relação à média.

O Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) é gerado a partir da correlação do valor encontrado de Cpk, com o parâmetro de PPAP de 1,33. Matematicamente o Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) é definido pela fórmula apresentada na Figura 32:

$$IPE = (Cpk / 1,33) \qquad \text{(eq.7)}$$

Figura 32 – Fórmula de IPE – Índice Paraconsistente de Exatidão

A Figura 33 ilustra a relação entre o Cpk e o Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE).

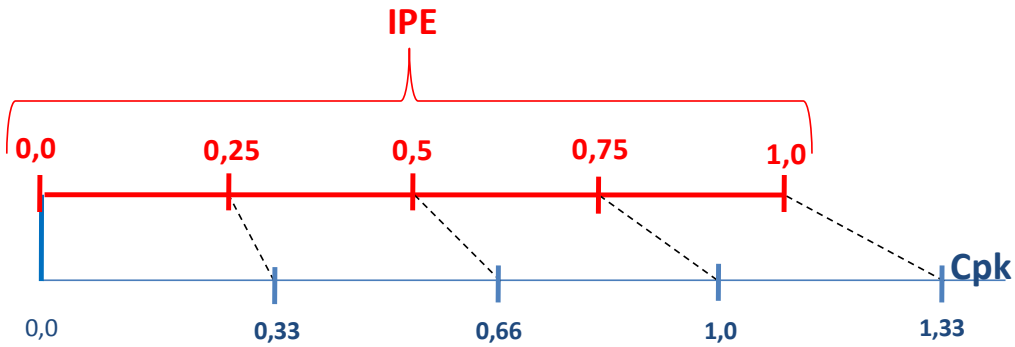


Figura 33 – Relação do Índice Paraconsistente de Exatidão (IPE) com a Razão de Capacidade Efetiva do Processo (Cpk)

Esta transformação é inspirada nos passos de normalização aplicados à Lógica Paraconsistente Anotada na conversão do Grau de Certeza Gc em grau de evidência resultante μE, conforme Da Silva Filho (2008).

Para valores de Cpk > 1,33 o Índice Paraconsistente de Precisão (IPE), assumirá o valor máximo de Grau de Evidência Favorável, ou seja, 1,0.

3.2.5. Modelagem da Rede de Análise Paraconsistente e aplicação do algoritmo

O cerne deste trabalho consiste em uma Rede de Análise Paraconsistente, baseada na interação dos Nós de Análise Paraconsistente da Lógica Paraconsistente Anotada, capaz de tratar cada um dos índices (IPAE, IPP, IPE) como graus de evidência favoráveis ou desfavoráveis.

O produto final desta rede é um índice que sintetiza a interação entre resultados.

Nesta interação, os três índices analisados possuem igualitariamente o mesmo peso. Quando um determinado índice assumir na proposição o grau de evidência favorável, será considerado o seu valor absoluto (exemplo: μ = IPP). Quando o índice assumir na proposição o grau de evidência desfavorável, será considerado o complemento que representa a diferença do valor máximo 1,0 (exemplo: λ = 1- IPP).

O algoritmo para definição do índice final remete em seis NAP, designados de P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

A Figura 34 ilustra a modelagem da Rede de Análise Paraconsistente e a interação dos NAP sobre os índices IPAE, IPE e IPP.

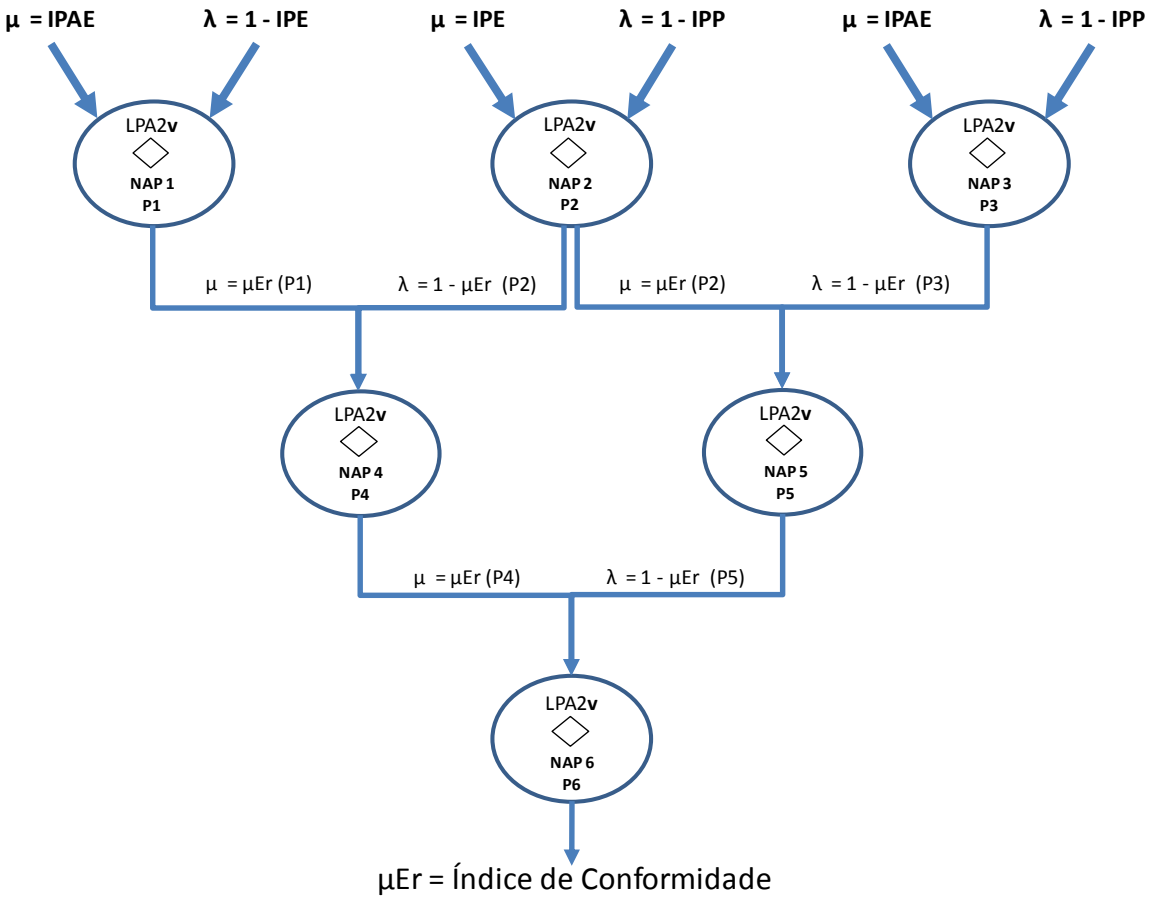


Figura 34 – Configuração da Rede de Análise Paraconsistente e interação entre os índices

O processamento NAP 1 (P1) implica na interação entre os índices IPAE e IPE, tal que a evidência favorável (μ) é o IPAE e a evidência desfavorável é definida por: λ= 1- IPE.

O processamento NAP 2 (P2) implica na interação entre os índices IPE e IPP, tal que a evidência favorável (μ) é o IPE e a evidência desfavorável é definida por: λ = 1- IPP.

O processamento NAP 3 (P3) implica na interação entre os índices IPAE e IPP, tal que a evidência favorável (μ) é o IPAE e a evidência desfavorável é definida por: λ = 1- IPP.

O processamento NAP 4 (P4) implica na interação entre os graus de evidência resultante real, resultado dos processamentos de P1 e P2, tal que a evidência favorável será o Grau de evidência de P1 e a evidência desfavorável definida por λ = 1- μEr de P2.

O processamento NAP 5 (P5) implica na interação entre os graus de evidência resultante real, resultado dos processamentos de P2 e P3, tal que a evidência favorável será o Grau de evidência de P3 e a evidência desfavorável definida por λ = 1- μEr de P2.

O processamento NAP 6 (P6) implica na interação entre os graus de evidência resultante real, resultado dos processamentos de P4 e P5, tal que a evidência favorável será o Grau de evidência de P4 e a evidência desfavorável definida por λ = 1- μEr de P5.

O Algoritmo NAP – Nó de Analise Paraconsistente, foi convertido em um código (linguagem de programação), para execução no *Visual Basic* do *Microsoft Excel*, conforme apresentado a seguir:

```
'Este algoritmo calcula o índice de conformidade final
'baseado na Lógica Paraconsistente Anotada - NAP

Sub Calcula_Indice_Final()

'Passo 0: Seleciona a planilha e a célula inicial
Sheets("Data 30 Samples").Select
Range("BY3").Select
Do

'Passo 1: Coleta os dados de IAE, IP, IE
IAE = ActiveCell.Value
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
IP = ActiveCell.Value
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
IE = ActiveCell.Value

‘ Processamento P1:

'Passo 2: Graus de evidência de P1
P1_Grau_de_Evidencia_favoravel = IAE
P1_Grau_de_Evidencia_desfavoravel = (1 - IE)

'Passo 3: Cálculo do Grau de Contradição de P1
Gct = (P1_Grau_de_Evidencia_favoravel + 1_Grau_de_Evidencia_desfavoravel) - 1
```

```
'Passo 4: Cálculo do Intervalo de Certeza de P1
P1_Intervalo_de_Certeza = 1 - Abs(Gct)

'Passo 5: Cálculo do Grau de Certeza de P1
GC = (P1_Grau_de_Evidencia_favoravel - P1_Grau_de_Evidencia_desfavoravel)

'Passo 6: Determinar o Grau de Certeza real de P1
'Se GC > 0 GCr = 1 - (Raiz de:(1- |GC|²) + Gct²)
'Se GC < 0 GCr = (Raiz de:(1- |GC|²) + Gct²) – 1

If GC > 0 Then
GCR = 1 - (Sqr(((1 - Abs(GC)) ^ 2) + (Gct ^ 2)))
End If
If GC < 0 Then
GCR = (Sqr(((1 - Abs(GC)) ^ 2) + (Gct ^ 2))) - 1
End If

'Passo 7: Determinar a sinalização do Intervalo de Graus de Certeza de P1
If Gct > 0 Then
sinal = "(+)"
End If
If Gct < 0 Then
sinal = "(-)"
End If
If Gct = 0 Then
sinal = "(0)"
End If

'Passo 8: Calcular o Grau de Evidência resultante real de P1
P1_uEr = (GCR + 1) / 2
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell.Value = P1_uEr
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Value = P1_Intervalo_de_Certeza & " " & sinal
```

...

Por analogia os demais processamentos P2, P3, P4, P5, P6, são submetidos à mesma lógica. O processamento é repetido à todos os pontos que compõem a base estatística.

A aplicabilidade do algoritmo pôde ser testada em um “Teste de Validação” para P1, P2, P3, com valores aleatórios de IPAE=0,720, IPP=0,850, IPE=0,420, conforme expresso na Figura 35.

P1			P2			P3		
IAE		0,720	IE		0,420	IAE		0,720
IE		0,420	IP		0,850	IP		0,850
μ	IAE	0,720	μ	IE	0,420	μ	IAE	0,720
λ	λ = 1- IE	0,580	λ	λ = 1- IP	0,150	λ	λ = 1- IE	0,150
Gct	Gct = (μ + λ) - 1	0,300	Gct	Gct = (μ + λ) - 1	-0,430	Gct	Gct = (μ + λ) - 1	-0,130
GC	GC = μ - λ	0,140	GC	GC = μ - λ	0,270	GC	GC = μ - λ	0,570
φ	φ = 1- |Gct|	0,700	φ	φ = 1- |Gct|	0,570	φ	φ = 1- |Gct|	0,870
Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,089	Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,153	Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,551
	Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO		Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO		Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO
	GC>0 ENTÃO Gcr =	0,089		GC>0 ENTÃO Gcr =	0,153		GC>0 ENTÃO Gcr =	0,551
uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,545	uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,576	uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,775
S1	S1 = μEr	0,545	S1	S1 = μEr	0,576	S1	S1 = μEr	0,775
S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	ϕ(0,70+)	S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	FALSO	S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	FALSO
	Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	FALSO		Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	ϕ(0,57-)		Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	ϕ(0,87-)
	Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO		Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO		Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO

Figura 35 – Teste de Validação do algoritmo para P1, P2 e P3 com valores aleatórios

O processamento a partir do exemplo com valores aleatórios de IPAE, IPP, IPE, gerou como produto o Grau de Evidência Resultante Real e o Intervalo do Grau de Certeza Sinalizado, para P1, P2, P3:

P1: μEr= 0,545 φ(0,70+)

P2: μEr= 0,576 φ(0,57-)

P3: μEr= 0,775 φ(0,87-)

O processamento a partir dos resultados de P1, P2, P3 gerou como produto o Grau de Evidência Resultante Real e o Intervalo do Grau de Certeza Sinalizado para P4 e P5, e a partir destes foi possível obter o Grau de Evidência Resultante Real e o Intervalo do Grau de Certeza Sinalizado para P6, conforme “Teste de Validação”, ilustrado na Figura 36.

P4			P5			P6		
P1		0,545	P2		0,576	P4		0,560
P2		0,576	P3		0,775	P5		0,661
μ	P1	0,545	μ	P3	0,775	μ	P4	0,560
λ	λ = 1- P2	0,424	λ	λ = 1- P2	0,424	λ	λ = 1- P5	0,339
Gct	Gct = (μ + λ) - 1	-0,032	Gct	Gct = (μ + λ) - 1	0,199	Gct	Gct = (μ + λ) - 1	-0,101
GC	GC = μ - λ	0,121	GC	GC = μ - λ	0,352	GC	GC = μ - λ	0,221
φ	φ = 1- |Gct|	0,968	φ	φ = 1- |Gct|	0,801	φ	φ = 1- |Gct|	0,899
Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,120	Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,322	Gcr	Se GC > 0 Gcr = 1 - (√ (1- |GC|²) + Gct²)	0,215
	Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO		Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO		Se GC < 0 Gcr = (√ (1- |GC|²) + Gct²) -1	FALSO
	GC>0 ENTÃO Gcr =	0,120		GC>0 ENTÃO Gcr =	0,322		GC>0 ENTÃO Gcr =	0,215
uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,560	uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,661	uEr	μEr = (GCr + 1)/2	0,607
S1	S1 = μEr	0,560	S1	S1 = μEr	0,661	S1	S1 = μEr	0,607
S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	FALSO	S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	ϕ(0,80+)	S2	Se Gct > 0 S2 = ϕ (+)	FALSO
	Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	ϕ(0,97-)		Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	FALSO		Se Gct < 0 S2 = ϕ (-)	ϕ(0,90-)
	Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO		Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO		Se Gct = 0 S2 = ϕ (0)	FALSO

Figura 36 – Teste de Validação do algoritmo para P4, P5 e P6 com valores aleatórios

A seguir os resultados obtidos para P4, P5, P6:

P4: μEr= 0,560 φ(0,968-)

P5: μEr= 0,661 φ(0,800+)

P6: μEr= 0,607 φ(0,899-)

Foi atribuído a cada ponto de controle da base estatística (1957 pontos) o resultado do processamento NAP 6 (P6), que representa o Índice de Conformidade Final da Análise Paraconsistente.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste capítulo são abordados os comparativos entre as técnicas convencionais de análise dimensional, que geralmente estão relacionadas à média, Cp e Cpk, com a proposta de análise dimensional através do algoritmo em Lógica Paraconsistente, que utiliza como proposições o Índice Paraconsistentede Atendimento às Especificações, Índice Paraconsistente de Precisão e Índice Paraconsistente de Exatidão. Para ilustrar estas diferenças de critérios e dos resultados, são abordados alguns exemplos oriundos da base estatística.

4.1. Conformidade dimensional a partir da Média e correlação com a Análise Paraconsistente

Este resultado consiste basicamente na contagem dos pontos de controle que são comparados com o intervalo definido pelos limites de especificação.

As médias dos valores medidos que estão concentrados dentro dos limites de especificação são consideradas aprovadas, e as médias dos pontos de controle, cujos valores medidos não estão dentro do intervalo definido pelos limites de especificação, são os pontos Reprovados. A Figura 37 apresenta o resultado da análise dimensional dos pontos de controle, utilizando a média das 30 amostras.

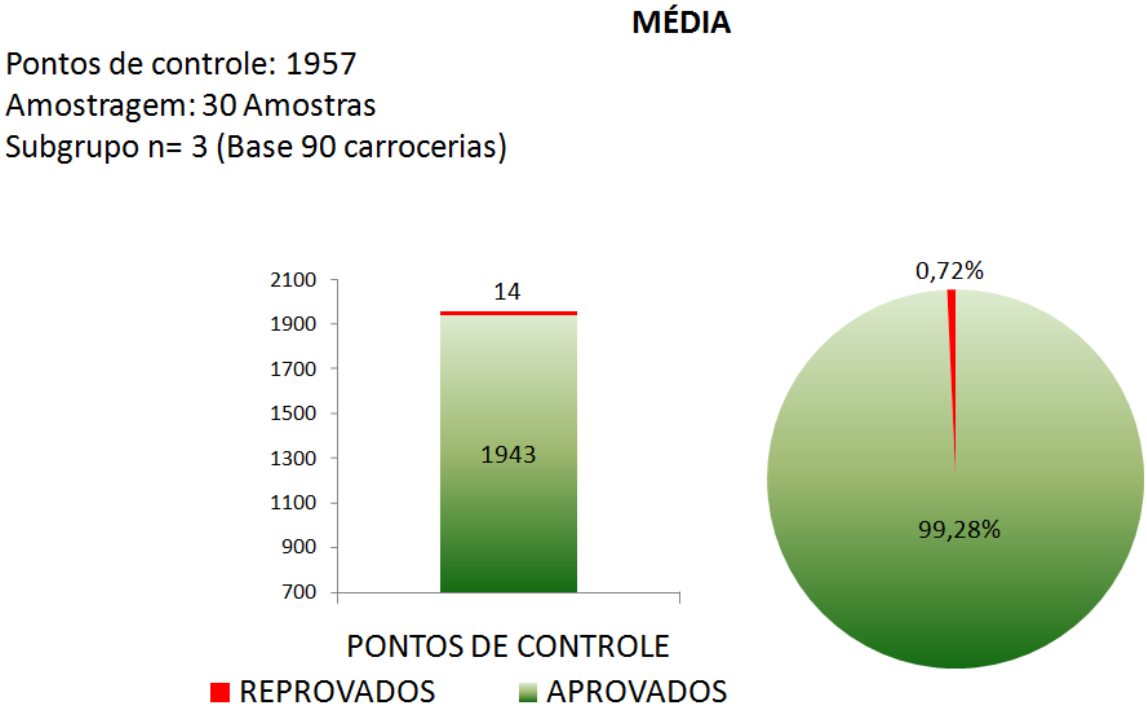


Figura 37 – Gráfico da análise dimensional dos pontos de controle a partir da média

Este resultado é apresentado em dois gráficos, onde o gráfico de coluna ilustra a quantidade de pontos considerados reprovados ou aprovados, e o gráfico de pizza o percentual correspondente de pontos reprovados e aprovados. Por esta técnica apenas 0,72% dos pontos medidos estariam reprovados.

Para comparar os índices de reprovação de resultados pela Média com o resultado obtido pela Análise Paraconsistente, foram correlacionados os resultados em cada ponto. Para viabilizar este comparativo foram segregados somente os pontos reprovados pela Média, e os valores encontrados pela Análise Paraconsistente foram ordenados em ordem decrescente.

A Tabela 6 apresenta o detalhamento para os pontos considerados “REPROVADOS” pela análise dimensional pela média, bem como o maior valor encontrado na Análise Paraconsistente para esta situação de reprovação.

Tabela 6 – Tabela com os pontos reprovados considerando a média

Coluna ordenada em ordem decrescente

REPROVAÇÃO PELA MÉDIA (Média fora dos limites de especificação)					P6 INDICE DE CONFORMIDADE FINAL	IMPACTO
Entitie	Axis	LIE	LSE	MÉDIA DAS MÉDIAS	uEr = Grau de evidencia resultante real	MÉDIA
G28 - W/S GLASS RH	Z	-1,500	1,500	-2,489	0,797	REPROVADO
G17 - RF TOOLG RH	Z	-1,200	1,200	-1,591	0,434	REPROVADO
FR RF RAIL BRACKET TOOLG LH	Z	-1,200	1,200	-1,397	0,415	REPROVADO
D09 - DR HINGE 4 RH	Y	-1,200	1,200	-1,363	0,406	REPROVADO
D08 - DR HINGE 3 RH	Y	-1,200	1,200	-1,358	0,403	REPROVADO
F44 - S/ABS MTG RH	Z	-1,200	1,200	-1,346	0,397	REPROVADO
G20 - ROOM LAMP RH	Y	-1,500	1,500	-1,704	0,380	REPROVADO
D04 - GANISH' MTG 3 LH	Z	-1,200	1,200	1,346	0,366	REPROVADO
A14 - WHELL GUARD MTG RH	X	-1,500	1,500	-1,620	0,355	REPROVADO
C/TOP TOOLG RH (NEW)	X	-1,000	1,000	1,102	0,335	REPROVADO
C13 - (L)P/BRAKE LVR MTG LH	Y	-1,500	1,500	-1,629	0,334	REPROVADO
D26 - BPR MTG RH	Y	-1,200	1,200	1,273	0,295	REPROVADO
E03 - UDR BD TOOLG RH	Y	-1,000	1,000	-1,039	0,259	REPROVADO
C/TOP TOOLG LH 1	Z	-1,000	1,000	1,258	0,250	REPROVADO

Na tabela 6 é possível identificar que para os pontos considerados “REPROVADOS”, os valores obtidos pela Análise Paraconsistente não foram superiores à 0,797.

4.2. Conformidade dimensional a partir de Cp e correlação com a Análise Paraconsistente

Este resultado consiste basicamente na contagem dos pontos de controle, Aprovados ou Reprovados, que são comparados com os valores de Cp. Avalia-se se os valores de Cp são maiores que 1,0, e para os casos afirmativos, conforme o PPAP da montadora define-se o ponto como “Aprovado Condicional”, e para os casos negativos os pontos são considerados “Reprovados”.

O resultado desta contagem dos valores de Cp é apresentado na Figura 38 por dois gráficos, onde o gráfico de coluna ilustra a quantidade de pontos considerados Reprovados ou Aprovados Condicionalmente, e o gráfico de pizza o percentual correspondente de pontos Reprovados e Aprovados Condicionalmente. Por esta técnica 3,17% dos pontos medidos estariam reprovados.

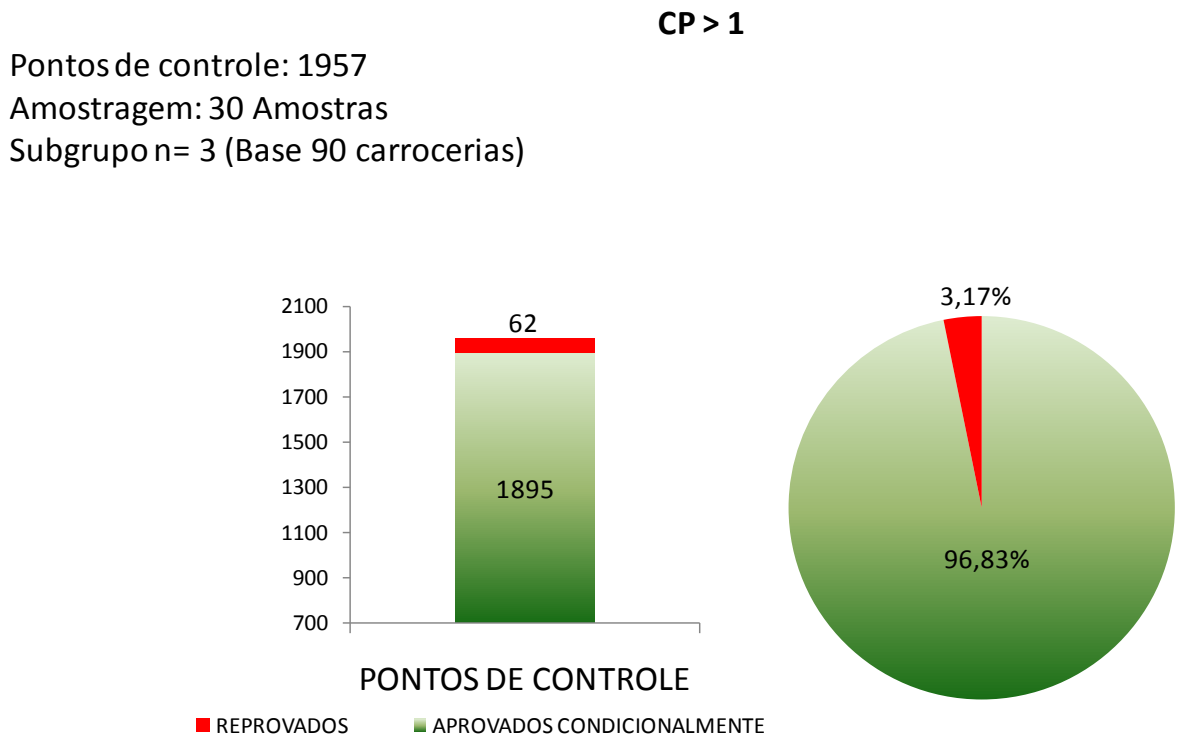


Figura 38 – Gráfico de aprovação pelo critério de CP>1,0

A Figura 39 ilustra os índices de aprovação de Cp > 1,00, considerando-os “Aprovados Condicionalmente”, e Cp > 1,33 “Aprovados com margem de segurança”, conforme o valor de referência (PPAP Aprovado) utilizado pela montadora.

Cp > 1 Cp>1,33

Pontos de controle: 1957
Amostragem: 30 Amostras
Subgrupo n= 3 (Base 90 carrocerias)

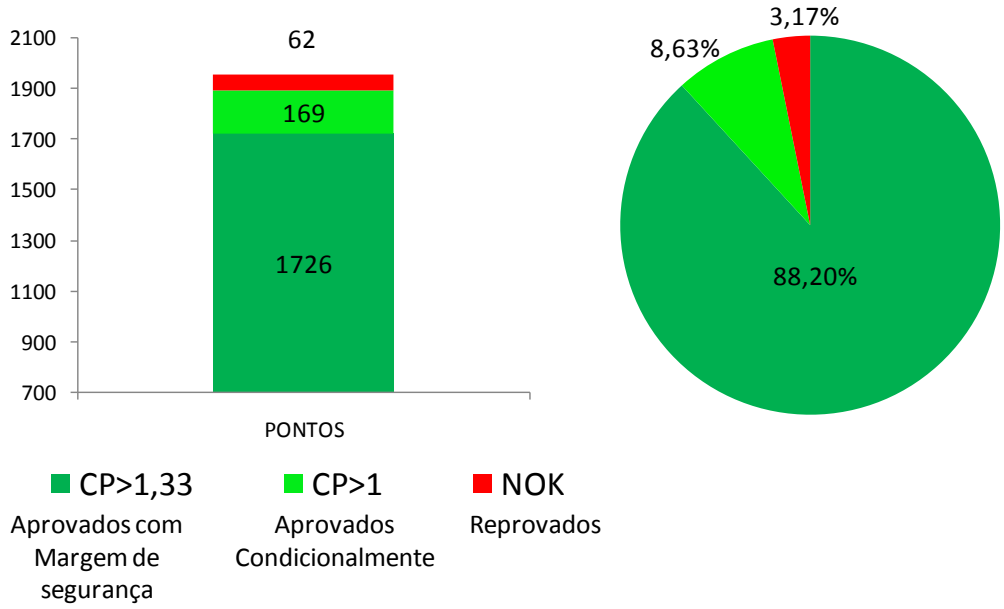


Figura 39 – Gráfico de aprovação pelo critério de CP>1,0 e CP>1,33

De acordo com esta abordagem o índice de reprovação se mantém em 3,17%, enquanto o índice de “Aprovados com margem de Segurança” (Cp > 1,33) corresponde a 88,20% e o índice de “Aprovados Condicionalmente” para o intervalo de Cp entre 1,00 e 1,32 corresponde a 8,63%.

A Tabela 7 apresenta o detalhamento para os pontos considerados “REPROVADOS” pela análise dimensional por Cp, bem como o maior valor encontrado na Análise Paraconsistente para esta situação de reprovação (Cp<1,0).

Tabela 7 – Tabela com os pontos reprovados considerando Cp<1,0

Coluna ordenada em ordem decrescente

REPROVAÇÃO POR CP (Cp < 1,0)					P6 INDICE DE CONFORMIDADE FINAL	IMPACTO
Entitie	Axis	LIE	LSE	CP	uEr = Grau de evidencia resultante real	CP
G25 - RF TOOLG 5 LH	Y	-1,000	1,000	0,934	0,728	REPROVADO
PART MTG 1	Y	-1,000	1,000	0,913	0,727	REPROVADO
E03 - UDR BD TOOLG RH	X	-1,000	1,000	0,955	0,717	REPROVADO
A28 - (R)ENG SUP 3 RH	X	-1,200	1,200	0,975	0,711	REPROVADO
C09 - (L)TGS LVR MTG LH	X	-1,500	1,500	0,972	0,700	REPROVADO
A08 - FA TOOLG LH	X	-1,000	1,000	0,873	0,698	REPROVADO
A04 - H/LAMP MTG RH	Z	-1,200	1,200	0,986	0,695	REPROVADO
F37 - TRIM MTG 4 LH	Z	-1,500	1,500	0,964	0,693	REPROVADO
A12 - BPR MTG 4 LH	X	-1,200	1,200	0,951	0,690	REPROVADO
G27 - T/GATE HINGE RH	X	-1,200	1,200	0,930	0,685	REPROVADO
A01 - RAD UPR MTG 1 LH	X	-1,200	1,200	0,979	0,679	REPROVADO
F38 - INR SD TOOLG 3 LH	Z	-1,200	1,200	0,872	0,670	REPROVADO
A21 - (L)TM MTG 2 LH	Y	-1,200	1,200	0,939	0,665	REPROVADO
A01 - RAD UPR MTG 1 LH	Z	-1,200	1,200	0,807	0,659	REPROVADO
F03 - C/CROSS GUIDE LH	Z	-1,200	1,200	0,976	0,652	REPROVADO

Na tabela 7 é possível identificar que, para os pontos considerados “REPROVADOS”, os valores obtidos pela análise paraconsistente não foram superiores à 0,728.

4.3. Conformidade dimensional a partir de Cpk e correlação com a Análise Paraconsistente

Este resultado consiste basicamente na contagem dos pontos de controle, Aprovados ou Reprovados, que são comparados com os valores de Cpk.

Avalia-se se os valores de Cpk são maiores que 1,0, e para os casos afirmativos, conforme o PPAP da montadora define-se o ponto como “Aprovado Condicional”, e para os casos negativos os pontos são considerados “Reprovados”.

O resultado desta contagem para Cpk é apresentado na Figura 40 por dois gráficos, onde o gráfico de coluna ilustra a quantidade de pontos considerados

Reprovados ou Aprovados Condicionalmente, e o gráfico de pizza o percentual correspondente de pontos Reprovados e Aprovados Condicionalmente.

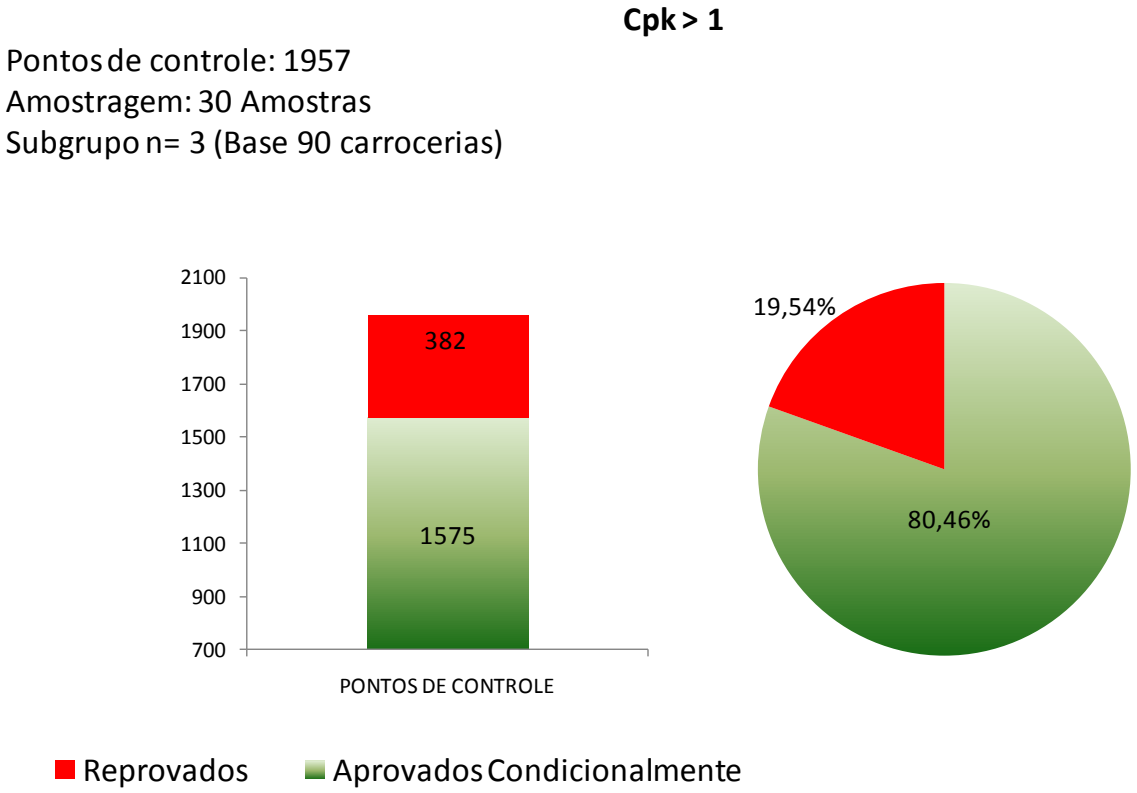


Figura 40 – Gráfico de aprovação pelo critério de Cpk > 1,0

Por esta técnica, 19,54% dos pontos medidos estariam reprovados. Ou seja, nestes pontos, o comportamento histórico das medições não tem o potencial de se manter centralizado dentro dos limites de especificação.

A montadora utiliza como referência o valor de Cpk 1,33 para um PPAP Aprovado.

A Figura 41 ilustra os índices de aprovação que estão no intervalo definido por Cpk >= 1,00 à Cpk <=1,32 considerando-os “Aprovados Condicionalmente” e Cpk > 1,33 “Aprovados com margem de segurança”.

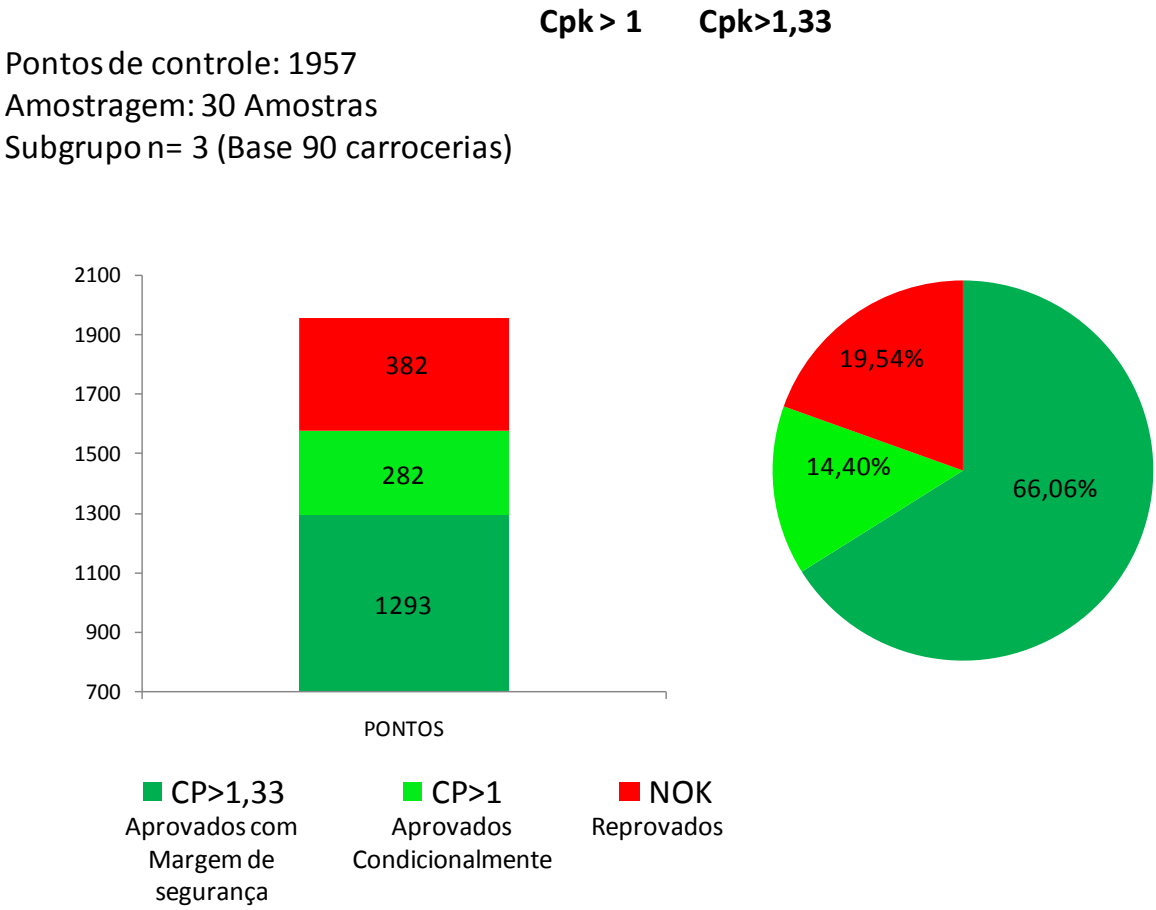


Figura 41 – Gráfico de aprovação pelo critério de Cpk>1,0 e Cpk>1,33

De acordo com esta abordagem o índice de reprovação se mantém em 19,54%, enquanto o índice de “Aprovados com margem de Segurança” (Cp > 1,33) corresponde a 66,06% e o índice de “Aprovados Condicionalmente” para o intervalo de Cp entre 1,00 e 1,32 corresponde a 14,40%.

A Tabela 8 apresenta o detalhamento para os pontos considerados “REPROVADOS” pela análise dimensional por Cpk, bem como o maior valor encontrado na Análise Paraconsistente para esta situação de reprovação (Cpk<1,0).

Tabela 8 – Tabela com os pontos reprovados considerando Cpk<1,0

Coluna ordenada em ordem decrescente

REPROVAÇÃO POR CPK (Cpk < 1,0)					P6 INDICE DE CONFORMIDADE FINAL	IMPACTO
Entitie	Axis	LIE	LSE	CPK	uEr = Grau de evidencia resultante real	CPK
F31 - INR SD TOOLG RH	Z	-1,500	1,500	0,998	0,813	REPROVADO
C13 - (L)P/BRAKE LVR MTG LH	Z	-1,500	1,500	0,995	0,808	REPROVADO
E03 - UDR BD TOOLG RH	Z	-1,000	1,000	0,989	0,807	REPROVADO
A07 - BPR MTG 2 LH	Z	-1,200	1,200	0,982	0,805	REPROVADO
B18 - (L)B/BOOSTER MTG 1 LH	Y	-1,500	1,500	0,994	0,803	REPROVADO
C06 - FRT SEAT MTG 3 LH	Z	-1,500	1,500	0,995	0,801	REPROVADO
F40 - BACK SEAT MTG 2 LH	Z	-1,500	1,500	0,966	0,797	REPROVADO
G21 - RF TOOLG 2 RH	Z	-1,200	1,200	0,986	0,796	REPROVADO
G10 - BPR MTG 3 LH	X	-1,200	1,200	0,981	0,793	REPROVADO
D14 - SIDE SILL 2 LH	X	-1,000	1,000	0,966	0,791	REPROVADO
F38 - INR SD TOOLG 3 RH	Y	-1,200	1,200	0,974	0,788	REPROVADO
C05 - FRT SEAT MTG 2 LH	Y	-1,200	1,200	0,966	0,787	REPROVADO
A20 - (L)TM MTG 1 LH	Y	-1,200	1,200	0,966	0,786	REPROVADO

Na tabela 8 é possível identificar que para os pontos considerados “REPROVADOS” os valores obtidos pela Análise Paraconsistente não foram superiores à 0,813.

4.4. Indicação de Aprovação e Reprovação pela Análise Paraconsistente

Um ponto relevante a ser considerado neste capítulo é a comparação entre os resultados finais encontrados pelas análises da Média, Cp, Cpk, bem como, entender o impacto de cada um destes resultados na Análise Paraconsistente.

A Figura 42 sumariza as quantidades de pontos reprovados e aprovados pelas diferentes técnicas, bem como indica quais foram os intervalos de resultados obtidos pela Análise Paraconsistente para cada situação.

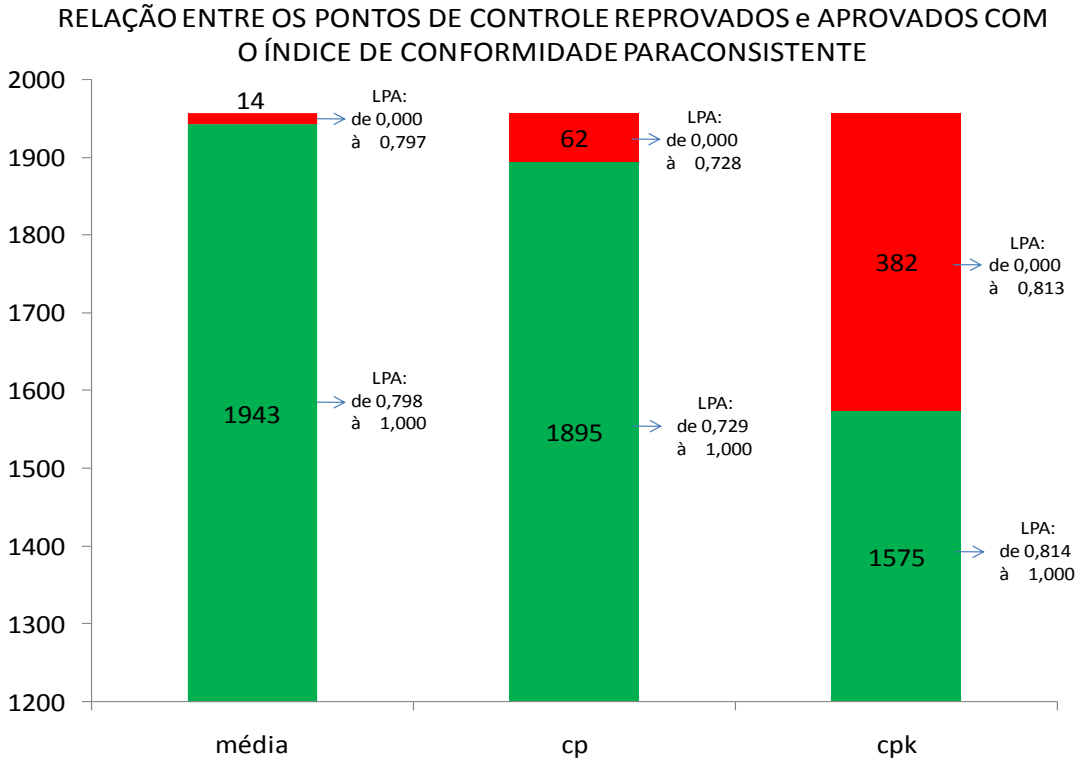


Figura 42 – Aprovados, reprovados e os intervalos dos resultados paraconsistentes

A Figura 43 indica para cada técnica de análise o intervalo fechado do conjunto dos números reais entre 0 e 1 associados a Análise Paraconsistente.

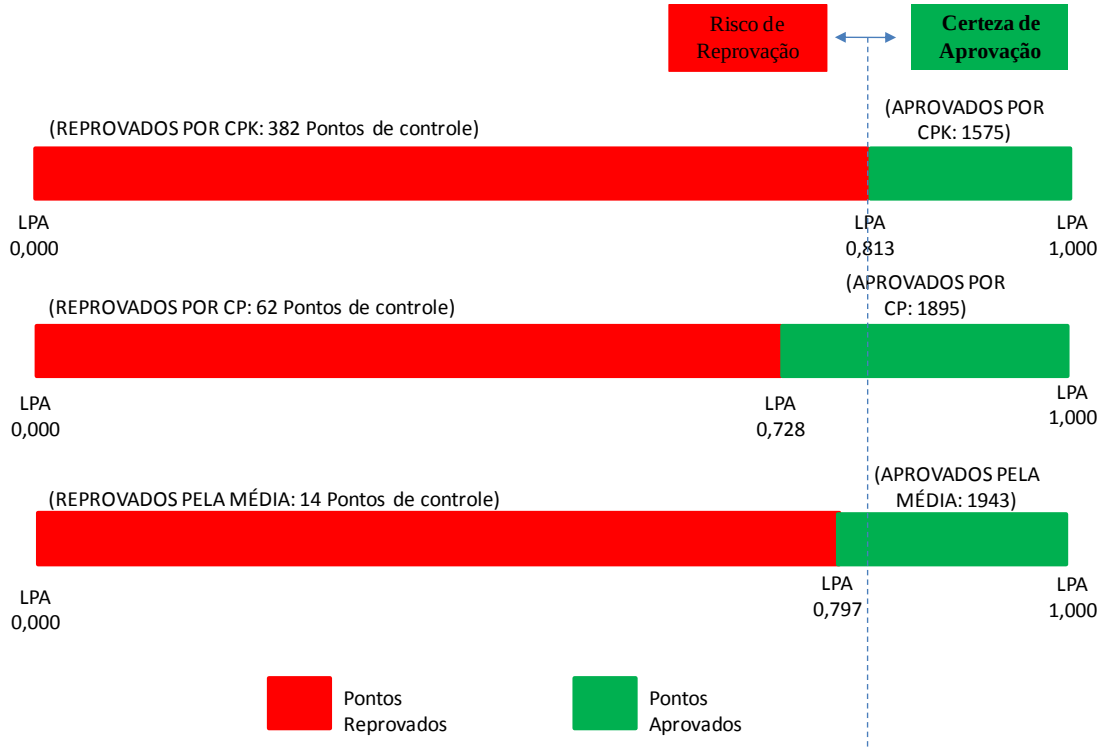


Figura 43– Intervalo Paraconsistente, indicação de reprovação e aprovação

Através desta avaliação é possível afirmar que, para a base de dados estudada, os valores encontrados pela Análise Paraconsistente superiores a 0,813 representam 100% dos pontos aprovados pelos três critérios de análise abordados (Média, Cp e Cpk), além disso é possível afirmar que quanto menor o valor encontrado pela Análise Paraconsistente maior a probabilidade de pontos "REPROVADOS" por alguma das outras técnicas estudadas.

Considerando o valor limite 0,813, indicado pela avaliação realizada pela Análise Paraconsistente, é possível contabilizar a quantidade de pontos que atingiram valores superiores e defini-los como Aprovados, bem como considerar os valores inferiores como Reprovados.

A Figura 44 ilustra as diferenças em relação aos níveis de aprovação, reprovação obtida pelas diferentes técnicas de análise.

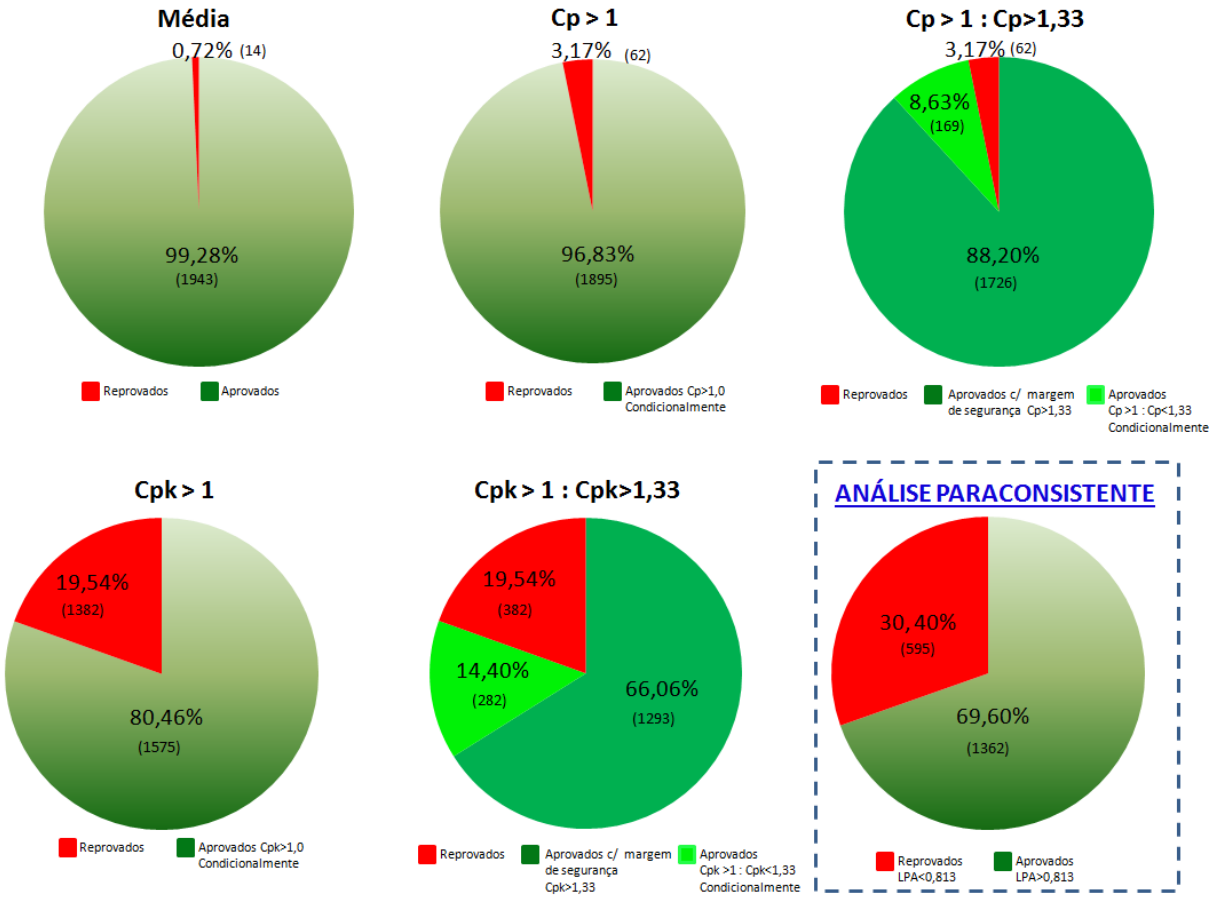


Figura 44 – Comparação dos resultados obtidos com as diferentes técnicas de análise

Para a base de dados estudada no presente trabalho o índice de aprovação através da Analise Paraconsistente foi de 69,60%, com 1362 pontos considerados

aprovados, e o índice de reprovação de 30,40% com 595 pontos considerados reprovados.

É possível afirmar que a Análise Paraconsistente foi a técnica que apresentou o maior número de pontos considerados reprovados, este resultado já era esperado, visto que esta técnica leva em consideração os Graus de Evidência de todas as demais. Trazendo maior segurança de não negligenciar nenhum dos aspectos relevantes da análise dimensional presentes no escopo da Média, Cp e Cpk.

A fim de comparar os resultados obtidos pelas diferentes técnicas de análise, foram selecionados quatro pontos de controle para exemplificar através de gráficos de tendência os resultados e interpretações.

A Figura 45 ilustra os resultados obtidos para o ponto de controle “A01 - RAD UPR MTG 1 RH - X”.

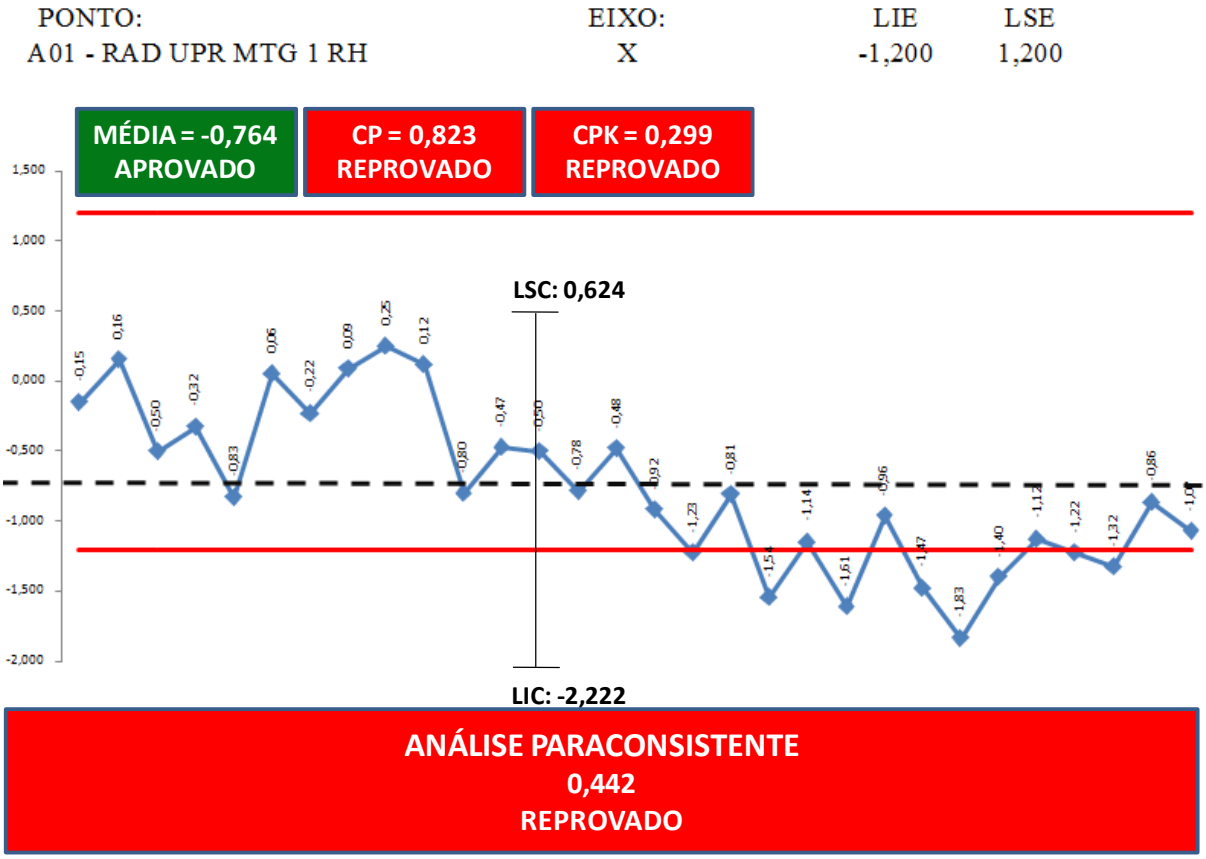


Figura 45 – Resultados das análises do ponto “A01 - RAD UPR MTG 1 RH - X”

Pelo exemplo ilustrado pela Figura 45, é possível observar que somente o critério de análise pela Média aprova este ponto. Os controles por Cp e Cpk e Análise Paraconsistente o reprovam.

Avaliando o comportamento das 30 amostras no gráfico de tendências é possível observar que existem amostras que estão fora do intervalo definido pelos limites de especificação, além disso, a dispersão entre as amostras leva a limites de controle que também estão fora do intervalo definido pelos limites de especificação.

Isto remete dizer que de acordo com esta interpretação o ponto “A01 - RAD UPR MTG 1 RH - X” tem oportunidades de melhoria e requer ações no processo produtivo.

A Figura 46 ilustra os resultados obtidos para o ponto de controle “A14 - WHELL GUARD MTG RH - X”.

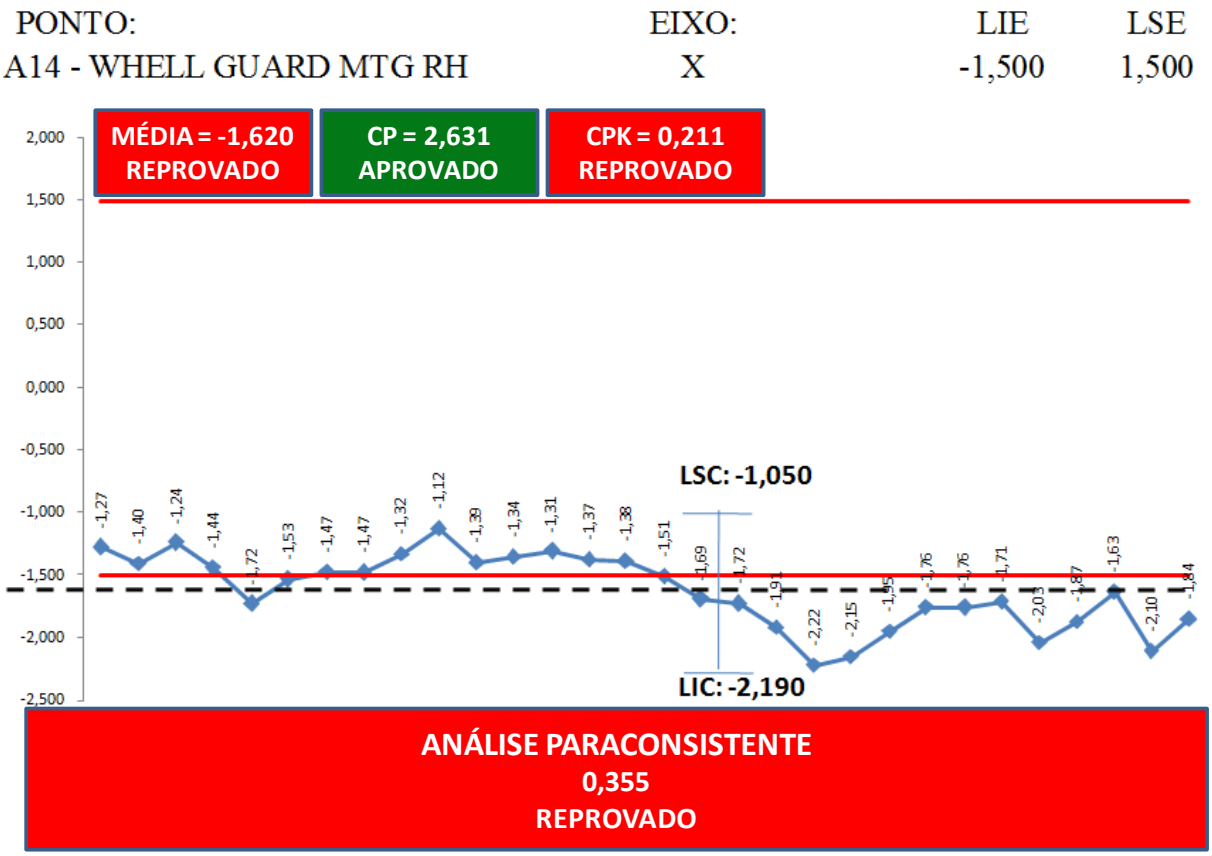


Figura 46 – Resultados das análises do ponto “A14 - WHELL GUARD MTG RH - X”

Pelo exemplo ilustrado pela Figura 46, é possível observar que somente o critério de análise por Cp aprova este ponto, principalmente porque a dispersão entre as amostras assegura que se este processo estivesse produzindo valores

centralizados no intervalo definido pelos limites de especificação, existiria o potencial deste processo se manter estável nestes limites. Por outro lado os controles por Média, Cpk e Análise Paraconsistente o reprovam.

Avaliando o comportamento das 30 amostras no gráfico de tendências, é possível observar que metade das amostras está fora do intervalo definido pelos limites de especificação, bem como, as amostras que estão dentro dos limites não estão centralizadas no intervalo definido pelos limites de especificação.

A Figura 47 ilustra os resultados obtidos para o ponto de controle “A28 - (R) ENG SUP três RH – X”.

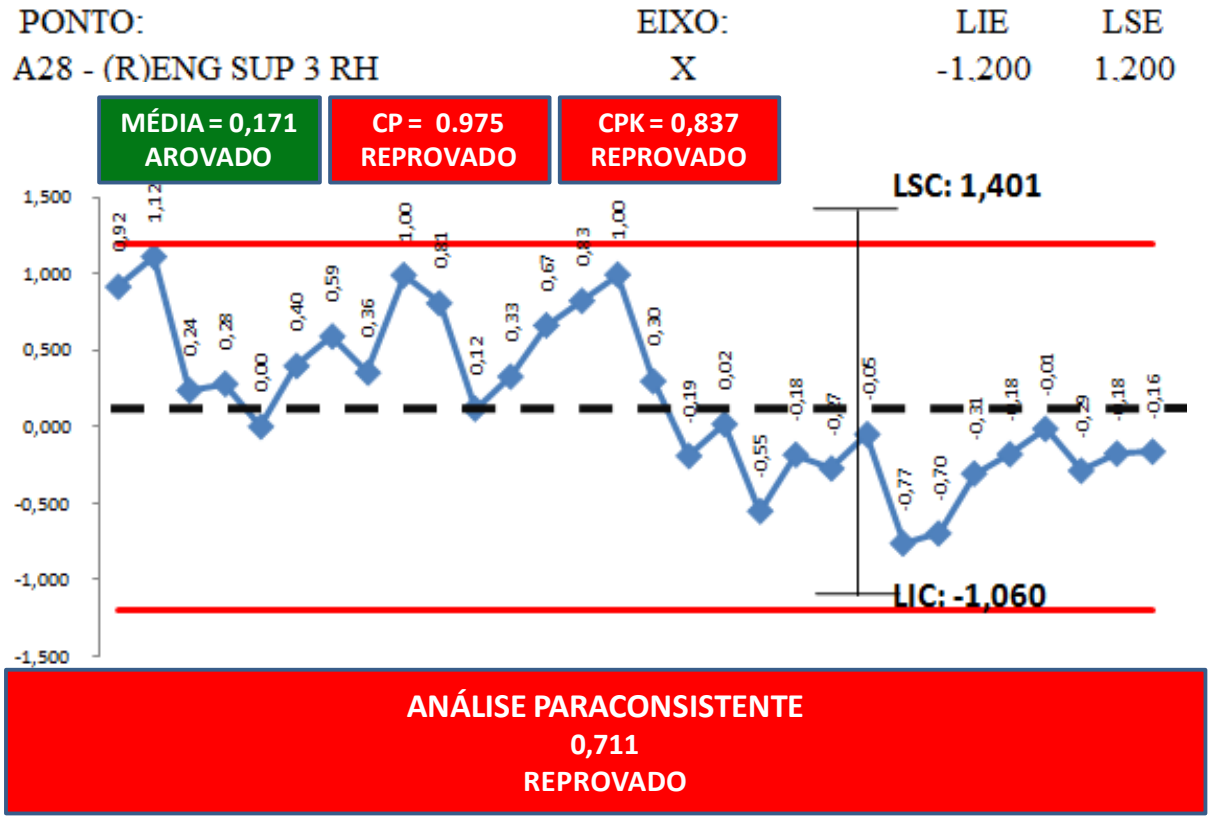


Figura 47 – Resultados das análises do ponto “A28 - (R) ENG SUP 3 RH – X”

Pelo exemplo ilustrado pela Figura 47, é possível observar que somente o critério de análise pela Média aprova este ponto. As análises por Cp, Cpk e Análise Paraconsistente o reprovam.

Avaliando o comportamento das 30 amostras no gráfico de tendências é possível observar que todas as 30 amostras estão dentro do intervalo definido pelos limites de especificação, porém, a dispersão entre as amostras leva a limites de

controle que estão fora deste intervalo. Por outro lado, tanto Cp quanto Cpk, estão muito próximos do valor de referência para aprovação (PPAP Aprovado condicional = 1,0). Isto remete a concluir que de acordo com esta interpretação o ponto “A28 - (R) ENG SUP 3 RH – X” atende as especificações, mas requer uma atenção especial pelo histórico da dispersão das 30 amostras.

A Figura 48 ilustra os resultados obtidos para o ponto de controle “D05 - DR HINGE RH – X”.

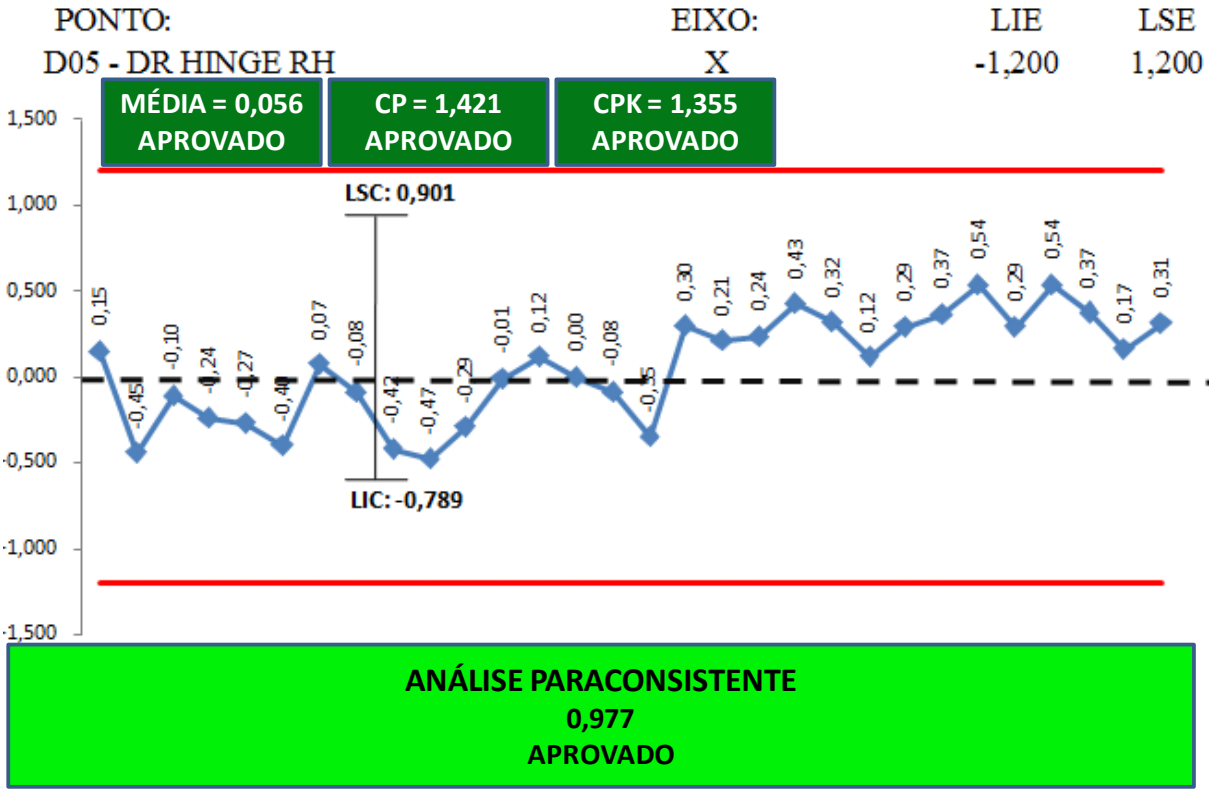


Figura 48 – Resultados das análises do ponto “D05 - DR HINGE RH – X”

Pelo exemplo ilustrado pela Figura 48, é possível observar que os critérios de análise pela Média, Cp, Cpk e Análise Paraconsistente aprovam este ponto.

Avaliando o comportamento das 30 amostras no gráfico de tendências é possível observar que todas as 30 amostras estão dentro do intervalo definido pelos limites de especificação, e a dispersão entre as amostras leva a limites de controle que também estão dentro deste intervalo. Ainda é possível observar que os valores das primeiras 15 amostras estão levemente deslocados tendendo a estarem mais próximos do limite inferior, enquanto as 15 últimas amostras estão levemente deslocadas tendendo a estarem mais próximas do limite superior, mas apesar

destes leves deslocamentos o Cpk apresenta um valor superior a 1,33 (PPAP Aprovado).

Isto remete a concluir que de acordo com esta interpretação o ponto “D05 - DR HINGE RH – X” atende todas as especificações, e não requer ações no processo.

4.5. Considerações finais sobre os resultados

A partir dos resultados obtidos pelas técnicas de análise abordadas, é possível fazer algumas considerações relevantes que corroboram a proposição do presente trabalho.

Os resultados confirmam que a avaliação pela Média negligencia o comportamento histórico das amostras, não sendo possível definir se existe ou não um comportamento estável do processo produtivo.

A avaliação por Cp, por sua vez, permite um foco na estabilidade do processo, mas negligencia o atendimento à especificação.

A avaliação por Cpk foi a técnica que forneceu a maior quantidade de pontos reprovados quando comparada à Média e ao Cp, pois leva em consideração a centralização dos desvios em relação aos Limites de Especificação.

A Análise Dimensional com uso da Lógica Paraconsistente traz o benefício da praticidade através da simplificação do processo de interpretação de resultados, sinalizando que valores inferiores a 0,813 indicam risco de descontrole, favorecendo assim um senso de priorização. Podendo este índice ser combinado à visualização de gráficos de tendência ou mesmo cartas de controle para uma tomada de decisão eficiente.

A Análise Paraconsistente foi também a técnica que apresentou a visão mais abrangente e criteriosa da análise dimensional, pois levou em consideração os aspectos relevantes da análise dimensional presentes no escopo da Média, Cp e Cpk.

A aplicação da proposta no ambiente fabril não apresentou grande complexidade, pois na empresa em que a proposta foi aplicada todos os materiais necessários estiveram à disposição.

Foi dispensada a necessidade de criação de softwares específicos para tabulação, visto que a base estatística e o produto final foram tabulados em planilhas

do *Microsoft Excel*. O processamento por sua vez utilizou recursos do *Microsoft Visual Basic*, também disponível como ferramenta do *Microsoft Excel*.

A experiência desta proposta não limita uma futura utilização de softwares específicos para tabular a análise, ou mesmo, incorporar a funcionalidade desta técnica em outros softwares existentes.

5. CONCLUSÃO

A competitividade da indústria automobilística remete a qualidade como meta estratégica para redução de custos e conquista de mercados. Um dos pilares que favorece a qualidade é assegurar que as características geométricas da carroceria automotiva se mantenham dentro de padrões e especificações. A análise dos relatórios dimensionais gerados pela metrologia, a partir da medição de carrocerias, pode promover uma avaliação preventiva de falhas e a definição de ações corretivas eficazes. Por isto, a eficácia das análises e a priorização das ações são extremamente relevantes neste contexto.

A metodologia aplicada trouxe como contribuição ao controle de qualidade da indústria a criação de uma ferramenta computacional de análise dimensional. Esta ferramenta favorece a priorização das ações corretivas e melhoria contínua dos processos de produção.

Através das Redes de Análises Paraconsistentes, foi possível a modelagem de um sistema que converte os dados das medições de carrocerias em um valor limite, que sinaliza que valores superiores à 0,813 trazem segurança de aprovação aos pontos de controle da carroceria automotiva, enquanto valores inferiores à 0,813 trazem risco de reprovação por alguma das técnicas de análise estudadas. Lembrando que estes valores são válidos para a base de dados específica do presente trabalho.

Outra contribuição significativa foi a simplificação da problemática da interpretação da análise dimensional, que pôde ser realizada a partir de um único critério. Eliminando assim, divergências e ambigüidades.

Este trabalho também trouxe a aproximação da Lógica Paraconsistente à Estatística, através da configuração de um modelo de extração dos Graus de Evidência dos indicadores estatísticos de Média, Cp e Cpk.

Os resultados obtidos corroboraram com a proposição do trabalho, apontando que métricas como a Média e o Cp são insuficientes para definir a necessidade de ações, bem como, as respostas binárias de “Aprovação” ou “Reprovação” oriundas das análises da Média, Cp e Cpk, podem não indicar a necessidade de avaliações mais aprofundadas ou mesmo a priorização necessária. Por outro lado, a utilização da Lógica Paraconsistente Anotada favoreceu a um processamento que leva em

consideração a combinação dos índices de exatidão, precisão e comportamento estatístico.

O modelo se mostrou aplicável e viável para análise dimensional de carrocerias da Indústria Automobilística, visto que não foram necessários investimentos adicionais, bem como os materiais utilizados são ferramentas de praxe para este segmento.

Um desafio para o futuro pode estar relacionado ao aprofundamento deste estudo a fim de definir diversos níveis em uma escala de conformidade dimensional, dependendo do resultado obtido pela análise paraconsistente.

Outra linha de pesquisa pode estar relacionada ao acompanhamento da técnica por um prazo maior, e a correlação destes resultados com outros indicadores de desempenho da qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15287:2005. **Normatização para Projetos de pesquisa.**

ARENHART, F. A. **"Desempenho Metrológico de Máquinas de Medição por Coordenadas no Âmbito Industrial Brasileiro."** Florianopolis, Maio 2007.

ASME Y 14.5.1M; **Mathematical definition of tolerance specifications. Manufacturing Review**, v. 6, 1994.

ASPRS - American Society for Photogrammetry, and Remote Sensing, eds. **Digital elevation model technologies and applications**: Asprs Publications, 2007.

AUTOMOTIVEBUSINESS: **I Fórum da qualidade Automotiva**: 23/09/2013, São Paulo. Fonte:www.automotivebusiness.com.br/noticia/18050/falta-de-qualidade-custa-r-56-bi-por-ano.

BALDO, C. R. **Desenvolvimento de estratégias para promover o uso da incerteza de medição no contexto industrial da metrologia por coordenadas**. 2008.

BARON, J.; HAMMETT, P.; SMITH, D. **"Stamping Process Variation: An Analysis of Stamping Process Capability and Implications for Design, Die Tryout and Process Control"**. Technical Report prepared for the Auto Steel Partnership Program, 1999.

BARROS, M. R. A. **Estudo da automação de células de manufatura para montagens e soldagem industrial de carrocerias automotivas**. Tese de Doutorado. Dissertação submetida à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.

BERNARDES, A. T. **"Rastreabilidade e incerteza."** - NPL National Physical Laboratory; Rio de Janeiro: Inmetro, 2012.

BRANDALIZE, M. C. B. **"Topografia. Comparação entre uma câmera e o olho humano"**. PUC PR.
Fonte: http://www.topografia.com.br/br/informacao/download.asp. Acesso em Nov. 2014.

CARDOSO, J. C.; LUZ, A. R. **Os arquivos e os sistemas de gestão da qualidade**. Arquivo & Administração, v. 3, 2004.

CASTRO, B. **Estrutura veicular** - São José dos Campos – 2009.

CAVACO, 2002. **Apostila de Metrologia**.
Fonte: www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/.../APOSTILA_PARTE_II.pdf.

COLTRO, A. **A gestão da qualidade total e suas influências na competitividade empresarial**. Caderno de pesquisas em administração, São Paulo, v. 1, 1996.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. 3.ed. Rio de Janeiro : José Olympio, 1988.

DA SILVA, D. G. V; GARCIA, E. P. **"Engenharia de Software III – Seminário 2"**. Universidade Estadual de Maringá, 2014.
Fonte: http://ws2.din.uem.br/~ra33217/assets/imagens/funcao-perda.png. Acesso: Mai. 2014

DA SILVA FILHO, J. I. **"Inteligência Artificial com as redes de análises Paraconsistentes: Teoria e Aplicações"** / João Inácio da Silva Filho, Jair Minoro Abe, Germano Lambert Torres. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

DA SILVA FILHO, J. I. **"Métodos de aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores – LPA2v com construção de algoritmo"**. Universidade de São Paulo, 1999.

DICIO – **Dicionário Online de Português**.
Fonte:http://www.dicio.com.br/especificacao. Acesso: Nov. 2014.

DIN ISO 10360-2 **Standard to define performance verification of the MMC and its associated probe**.

EPPRECHT, E. K.;COSTA, A. F. B.;MENDES, F. C. T. **"Gráficos adaptativos de controle por atributos e seu projeto na prática."** Pesquisa Operacional 25.1 (2005): 113-134. PUC. Rio de Janeiro. 2005.

EURONOBRE – **"Euronobre Equipamentos Industriais"**
Fonte: http://www.euronobre.com/projetos. Acesso: Fev. 2014

EVANGELISTA, S. H. **Diagramas de limite de conformação aplicados à análise por elementos finitos de um processo de estampagem em chapas metálicas.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2000.

FEIGENBAUM, A. V. **Gurus da qualidade Total. Um paralelo de suas contribuições com a abordagem sistêmica das organizações**. 1994.

FERNANDES, M. A. B. **Simulação computacional aplicada ao planejamento e projeto da área de armação de carrocerias na indústria automobilística** / M.A.B. Fernandes. São Paulo, 2009.

FERREIRA, A. B. de H. **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988.

GEODETIC SYSTEMS – **"The Basics of Photogrammetry"**.
Fonte:www.geodetic.com/v.../what-is-photogrammetry.asp. Acesso em Nov. 2013

GOM – **"Optical Measuring Techniques"**
Fonte:http://www.gom.com/metrology-systems/3d-scanner.html Acesso: Mar. 2014

HAMBURG-PIEKAR, D. S. **Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas.**2006.

HAMMETT, P.; SMITH, D.; BARON, J. **“Automotive Body Measurement System Capability”**. Auto/Steel Partnership Program Body Systems Analysis Task Force 2000.Fonte: http://hdl.handle.net/10926/1366.

HEXAGON METROLOGY – **“The World’s Largest Measurement Group”** http://www.hexagonmetrology.com/media/images/Prod_Cat_Corp_CMMs_Horizonta. Acesso: Jun. 2014

INMETRO - **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia**. Disponível em www.inmetro.gov.br/metcientifica.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total a maneira Japonesa**. Rio de Janeiro, 1993.

JURAN, J. M., **Controle da qualidade**. 5ª edição. Makron Books; McGraw-Hill, 1991.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M. **Quality Planning and Analysis; from product development through use**. 3.ed. New York : McGraw-Hill, 1993.

LIMA, A. A. N. **Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica.** Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, v. 27, 2009.
LIMA, C. R. G. **Um estudo comparativo de sistemas de medição aplicáveis ao controle dimensional de superfícies livres em peças de médio e grande porte**. 2006.

LOPES, L. F. D. **Controle estatístico de processo (Apostila)** 2003.
Fonte: www. ebah. com. br/cep-controleestatistico-de-processo-pdf-a6788. html. Acesso em Mai 2014.

MARIO, M. C. et al. **Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes aplicadas na extração de dimensões físicas de objetos em imagens fotográficas digitais.** Revista Seleção Documental. N.28. Ano 7. Santos, 2012.

MAY, F. P. **Incertezas na medição por coordenadas com ênfase na contribuição da forma da peça e da estratégia de medição.**Diss. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MEARS, P. **How to stop talking about, and begin progress toward, total quality management.** Business horizons, v. 36. 1993.

MONTGOMERY, D. C., **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4ª edição. Editora LTC. 2004.

NASCIMENTO JÚNIOR, J. O; SCHULER, C. A. **Sistema laser Scanner**. Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju 2006.

NOVUS – **"Novus Laboratório de Metrologia"**
http://www.novus.com.br/Imagens/Precisao%20x%20Exatidao.jpg
Acesso: Mai. 2014

OAKLAND, J. **Gerenciamento da qualidade total**. NBL Editora, 1994.

PERES, E M. **Definição de um diagrama operacional para estruturar e correlacionar atividades e padrões dimensionais e geométricos no desenvolvimento e melhoria de produtos e processos, aplicados a um projeto veicular.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

PINTO FILHO, R. R. **Concepção, projeto e otimização de uma estrutura para aplicação em veículo de uso misto**. 2004.

PIOREZAN, L. **Estabilização de processos: um estudo de caso no setor de pintura automotiva**. 2001.

PIRATELLI FILHO, A. **"Planejamento do processo de medição com Scanner Laser tridimensional"**. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Rio de Janeiro, 2013.

PIRES, V. T. **"Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz"**. UFRGS. Porto Alegre. 2000.

QUINQUIOLO, J. M. **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva.** Taubaté⁄SP: Universidade de Taubaté, 2002.

QUINTANILHA, S. Um carro mais, mais, mais.**Motor Show**, Edição 365. Agosto 2013. Fonte: http://motorshow.terra.com.br/media/images/large/2013/08/27/img-357891-um-carro-mais-mais-mais-73.png. Acesso: Fev. 2015.

RENISHAW – **"Renishaw Apply Innovation"**
Fonte:www.renishaw.com/en/easyprobe-probe-software-for-machining-centres--6092 Acesso: Abr. 2014.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. **Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição.** Porto Alegre: FEENG/UFRGS. ISBN 85-88085-10-0. 2012.

RIGHETTO, J. **"Construção Funcional: Uma abordagem do desenvolvimento de componentes individuais da carroceria, com foco no veículo completo, integrando o produto, o processo e a manufatura"**. São Paulo. 2005.

ROCHINI NETO, R. **"A Logística Automotiva e o desafio da especialização diante de um novo cenário da indústria automobilística".** Instituto Brasileiro de Logística. Disponível em http://www.ibralog.org.br.

ROSA, CIRO BATISTA. **"Proposta de homologação de produtos para a indústria automotiva"**. São Paulo. 2004.

SANCHES JUNIOR, L. **Estabilidade dimensional de carrocerias automotivas através de pré-controle aplicado no processo de junção de subconjuntos.** São Paulo. 2007.

SELLITO, M. A. **"Medição e controle de desempenho estratégico em sistemas de manufatura"**. UFRGS. Porto Alegre. 2005.

SOLIDWORKS – **Graus de Liberdade**.
Fonte:HTTP://Solidworks.com/2012/Portuguese-brasilian/SolidWorks/motionstudies/Degrees_of_Freedom.htm.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação.** Revista HCPA, v. 32, n. 2, 2012.

VIM – International Vocabulary of Metrology – **Basic and general concepts and associated terms** – 2012.

WELLS, L. J. **"Advancing Manufacturing Quality Control Capabilities Through The Use Of In-Line High-Density Dimensional Data"**. 2013. Virginia Polytechnic Institute and State University.

WILKE, F. Z., Franciosi, B. R. T.; OLIVEIRA, C. D. M. **Modelling the Measurement Uncertainty by Intervals**. Journal of Universal Computer Science, 1998.

WOOD JR, T. **Fordismo, toyotismo e volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido**. Revista de administração de Empresas, v. 32, 1992.

WUTKE, J. D. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre.**Diss. Universidade Federal do Paraná, 2006.

3D LASER SCANNING – **"Dimensional Measurement, Inc offers 3D Laser Scanning services for use in reverse engineering and inspection".**
Fonte: http://www.3dlaserscanningservices.net. Acesso: Mar. 2014