

CELSO FRANCISCO DE MORAES

Procedimento para Avaliação de Conformidade baseado em Analogia com o Princípio da Incerteza

Guaratinguetá - SP
2020

Celso Francisco de Moraes

Procedimento para Avaliação de Conformidade baseado em Analogia com o Princípio da Incerteza

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Projetos, Gestão e Otimização.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá - SP
2020

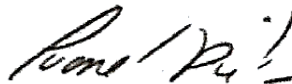
M827p	Moraes, Celso Francisco de Procedimento para avaliação de conformidade baseado em analogia com o princípio da incerteza / Celso Francisco de Moraes – Guaratinguetá, 2020 168 f. : il. Bibliografia: f. 140-148 Bibliografia consultada: 149-152 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Controle de processo - Métodos estatísticos. 2. Incerteza de medição (Estatísticas). 3. Programas de compliance. 4. Gestão de qualidade total. I. Título. CDU 658.511.3(043)
-------	---

CELSO FRANCISCO DE MORAES

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"**

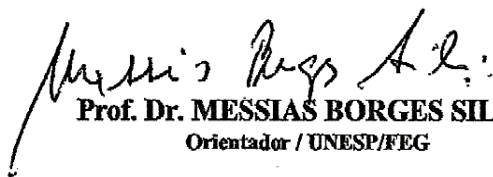
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

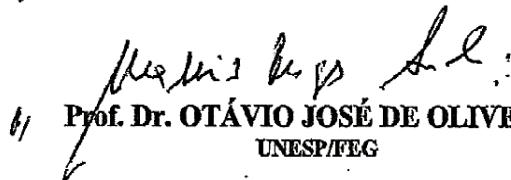


Prof. Dr. Ivonete Ávila
Coordenadora

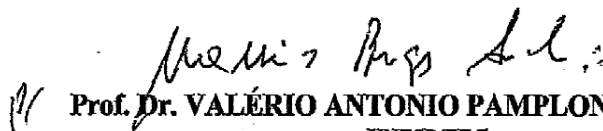
BANCA EXAMINADORA:



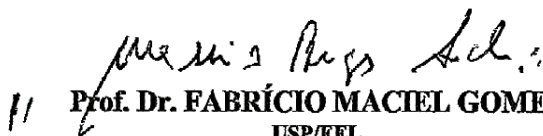
Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador / UNESP/FEG



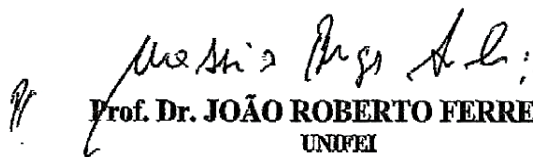
Prof. Dr. OTÁVIO JOSÉ DE OLIVEIRA
UNESP/FEG



Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON
UNESP/FEG



Prof. Dr. FABRÍCIO MACIEL GOMES
USP/EEL



Prof. Dr. JOÃO ROBERTO FERREIRA
UNIFEI

DADOS CURRICULARES

CELSO FRANCISCO DE MORAES

NASCIMENTO	19.11.1964 – Guaratinguetá / SP
FILIAÇÃO	Maria José de Moraes (<i>in memoriam</i>) Alfredo Francisco dos Santos (<i>in memoriam</i>)
1988/1991	Licenciatura Plena em Ciências com Habilitação em Matemática Faculdade Salesiana de Filosofia, Ciências e Letras de Lorena (atual UNISAL – Centro Universitário Salesiano de São Paulo)
1994/1997	Engenharia Industrial Química Faculdade de Engenharia Química de Lorena (atual EEL/USP – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo)
2001/2002	Especialização em Gestão da Produção FEG/UNESP – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista
2004/2006	Mestrado em Engenharia de Produção, área de Qualidade e Produtos UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
2017/2020	Doutorado em Engenharia Mecânica, área de Projetos, Gestão e Otimização FEG/UNESP – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Período Sanduíche como pesquisador visitante (dez. 2018 a jun. 2019) Universidade do Tennessee, Knoxville/TN, Estados Unidos da América

Dedico este trabalho e tudo o que dele possa decorrer à minha esposa Patrícia e às minhas filhas Amanda e Renata.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é também uma forma de reverência à vida, aos melhores sentimentos e sobretudo à onipresença de Deus. E é por isso que sempre iniciamos os agradecimentos com Ele que, independentemente de toda e qualquer discussão humana, creio ser a correta explicação sobre a nossa existência.

Agradeço aos familiares que estiveram comigo durante esta jornada acadêmica, especialmente às minhas filhas Amanda e Renata, mas principalmente à minha esposa Patrícia, que se desdobrou logisticamente e emocionalmente para que o meu projeto de doutorado pudesse ser plenamente concretizado; portanto, divido com ela os méritos deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Messias Borges Silva pela condução inteligente das atividades acadêmicas, pela crítica construtiva e especialmente pela amizade. Ao Prof. Dr. Rapinder S. Sawhney pela supervisão do período sanduíche na Universidade do Tennessee. Ao Prof. Dr. Otávio José de Oliveira (FEG/UNESP), ao Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon (FEG/UNESP), ao Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes (EEL/USP), ao Prof. Dr. Marco Antônio Carvalho Pereira (EEL/USP) e ao Prof. Dr. João Roberto Ferreira (UNIFEI) pelas importantes contribuições decorrentes da leitura crítica deste trabalho acadêmico.

Aos docentes do Departamento de Produção da FEG/UNESP, notadamente ao Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins, ao Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva e ao Prof. Dr. José Roberto Dale Luche pelas dicas e orientações em aulas e seminários. Aos funcionários dos diversos setores da FEG/UNESP, com especial consideração à Margarida Corrêa Leite (Margô) e à Maria Aparecida Gonçalves Corrêa (Cidinha).

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da FEG/UNESP e aos pesquisadores do Departamento de Engenharia Industrial da Universidade do Tennessee, destacadamente ao colega brasileiro Esdras Araújo. Ao Daniel Luby e aos inspetores da Boatmate Trailers em Maryville/TN; à Natalia Pirro, ao Igor Santos e aos demais funcionários da API América Latina em São José dos Campos/SP.

Ao Stephen Hawking que escreveu o livro “Uma Breve História do Tempo: Do *Bing Bang* aos Buracos Negros”, improvável inspiração para uma pesquisa acadêmica na área da Qualidade. Ao Djavan, Pink Floyd e Supertramp que criaram as principais músicas utilizadas como trilha sonora durante o período de redação da tese.

Especial e sincero agradecimento póstumo à Maria José Santos (Tia Maria Sapé), Joaquim Anselmo (Tio Jaca), Laura Maria Anselmo Rodrigues e Raquel Aparecida Anselmo pelo maior e mais valioso presente que se pode receber em toda uma vida: o acesso à educação.

“Estou certo de que o universo é infinito; um universo finito não seria digno de Deus.”

Giordano Bruno (1548-1600)

RESUMO

Avaliação de conformidade é um tema de grande importância em diversos ramos, tais como gestão de operações e de qualidade, desenvolvimento e certificação de produtos, de processos e de sistemas, certificação e acreditação de organizações, comércio internacional, entre outros. Esta tese reporta a introdução e validação de um procedimento inovador, denominado FCAUP, para planejamento e implementação de avaliação de conformidade baseado em uma analogia conceitual com o Princípio da Incerteza de Heisenberg relativo à Mecânica Quântica. FCAUP significa “*Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*” (Procedimento para Avaliação de Conformidade inspirado pelo Princípio da Incerteza). Este procedimento original emprega técnicas quantitativas e qualitativas para análise, classificação, amostragem intencional e execução de duplas inspeções a fim de reduzir os efeitos da incerteza inerentes às atividades de avaliação de conformidade. Uma verificação teórica preliminar foi conduzida por meio de releitura de casos reais relativos a três avaliações de conformidade realizadas em diferentes indústrias de fabricação. Em seguida, para consolidação da teoria, foi efetuada uma implementação piloto em uma indústria de fabricação de reboques para barcos em Maryville, Tennessee, Estados Unidos da América. Por último, o procedimento FCAUP foi validado por meio de um estudo de campo realizado de forma bem-sucedida em uma empresa de metrologia em São José dos Campos/SP. Os primeiros resultados práticos confirmaram a estimativa teórica de que FCAUP é um procedimento promissor com aplicabilidade em várias categorias de avaliação de conformidade.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de conformidade. analogia com o princípio da incerteza. procedimento FCAUP. estudo de campo.

ABSTRACT

Conformity assessment is a very important theme in many different branches, such as operations and quality management, development and certification of products, processes and systems, certification and accreditation of organizations, international trade, and so on. This thesis reports the introduction and validation of an innovative framework, named FCAUP, for planning and implementing conformity assessment based on a conceptual analogy with Heisenberg's Uncertainty Principle of Quantum Mechanics. FCAUP means "Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle". This original procedure employs quantitative and qualitative techniques for analysis, classification, purposive sampling and execution of double inspections in order to reduce the uncertainty effects inherent to conformity assessment activities. Its preliminary theoretical evaluation has been performed by means of rereading actual situations regarding three conformity assessments carried out in different manufacturing industries. Then, in order to consolidate the theory, a pilot implementation has been carried out in a boat trailer manufacturer industry in Maryville, Tennessee, USA. Finally, the FCAUP procedure has been validated by means of a successful field study in a metrology company in São José dos Campos, São Paulo, Brazil. The first practical results have endorsed the theoretical evaluation that FCAUP is a promising procedure to be applied in many categories of conformity assessments.

KEYWORDS: conformity assessment. uncertainty principle analogy. FCAUP procedure. field study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das publicações sobre avaliação da conformidade nos últimos 20 anos	17
Figura 2 – Publicações sobre avaliação da conformidade por área de conhecimento	18
Figura 3 – Publicações sobre avaliação da conformidade por país	18
Figura 4 – Arranjo funcional para avaliação da conformidade	19
Figura 5 – Possíveis abordagens na relação entre avaliação de conformidade e inspeção	21
Figura 6 – Etapas do método científico	22
Figura 7 – Referências classificadas por tipo e por disciplina envolvida.....	27
Figura 8 – Referências classificadas por ordem cronológica	27
Figura 9 – O papel da infraestrutura de qualidade no desenvolvimento econômico	36
Figura 10 – Contextualização da avaliação da conformidade na regulação de mercados	37
Figura 11 – Investimento em ferramentas da qualidade na avaliação da conformidade	43
Figura 12 – Ondas da gestão da qualidade	47
Figura 13 – Representação da estrutura do sistema de gestão da qualidade no ciclo PDCA .	49
Figura 14 – Estrutura da avaliação da conformidade e sua relação com sistemas de gestão .	50
Figura 15 – Avaliação da conformidade para certificação de sistemas de gestão	51
Figura 16 – Distribuição espectral da radiação térmica	59
Figura 17 – Partícula compelida a se mover em uma dimensão sob a ação de uma força	63
Figura 18 – Fotografia oficial da 5ª Conferência de Solvay, Bruxelas, outubro de 1927	66
Figura 19 – Ilustração do paradoxo do gato (Gato de Schrödinger)	68
Figura 20 – Representação pictórica do Princípio da Incerteza	71
Figura 21 – Publicações que mencionam <i>quantum</i> ou <i>uncertainty principle</i> por área	76
Figura 22 – Principais atividades desta pesquisa de doutorado.....	82
Figura 23 – Avaliação de registros de conformidade vs. grau de confiança na conformidade	85
Figura 24 – Avaliação de registros de conformidade, 3 graus de confiança na conformidade	88
Figura 25 – Esboço da analogia entre Princípio da Incerteza e avaliação de conformidade..	98
Figura 26 – Fluxograma do procedimento FCAUP.....	102
Figura 27 – Aba “ <i>calculations</i> ” de uma planilha operacional (modelo)	103
Figura 28 – Aba “ <i>summary and conclusion</i> ” de uma planilha operacional (modelo)	104
Figura 29 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa A)	106
Figura 30 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa B).	107
Figura 31 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa C).	107
Figura 32 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa A	108

Figura 33 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa B	109
Figura 34 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa C	109
Figura 35 – Exemplo de reboque fabricado pela Boatmate Trailers	112
Figura 36 – Mapa do processo produtivo da Boatmate Trailers.....	113
Figura 37 – Exemplo de cálculo referente a um reboque típico conforme FCAUP	116
Figura 38 – <i>Checklist</i> A para inspeção de aceitação de revendedores da Boatmate Trailers	119
Figura 39 – <i>Checklist</i> B para inspeção de aceitação de revendedores da Boatmate Trailers	119
Figura 40 – <i>Checklist</i> C para inspeção de aceitação de revendedores da Boatmate Trailers	119
Figura 41 – <i>Checklist</i> B na aba “ <i>summary and conclusion</i> ” da planilha operacional	120
Figura 42 – Visão geral dos processos da API América Latina	121
Figura 43 – Exemplos de equipamentos utilizados pela API América Latina	121
Figura 44 – Cálculos do planejamento da auditoria interna conforme FCAUP.....	125
Figura 45 – Resumo da auditoria interna conforme procedimento FCAUP	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição das questões de pesquisa e de seus respectivos pressupostos	23
Quadro 2 – Relação entre objetivos, pressupostos e questões desta pesquisa	24
Quadro 3 – Resumo desta pesquisa de doutorado	26
Quadro 4 – Períodos da globalização	33
Quadro 5 – As funções da avaliação da conformidade	40
Quadro 6 – Classificação da avaliação da conformidade	41
Quadro 7 – Mecanismos da avaliação da conformidade	42
Quadro 8 – Descrição resumida do ciclo PDCA	48
Quadro 9 – Subclassificações da inspeção em produtos manufaturados e serviços	53
Quadro 10 – Descrição resumida dos tipos e técnicas de amostragem	54
Quadro 11 – Evolução das principais ações do Programa TIB	57
Quadro 12 – Postulados da Mecânica Clássica e da Mecânica Quântica	64
Quadro 13 – Distinção entre as interpretações sobre a Mecânica Quântica	65
Quadro 14 – Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção	78
Quadro 15 – Seções típicas de um protocolo de pesquisa	83
Quadro 16 – Resumo da analogia “Princípio da Incerteza/avaliação de conformidade”	99
Quadro 17 – Resumo do procedimento FCAUP	101
Quadro 18 – Lista de critérios mínimos para definição qualitativa de registros individuais	104
Quadro 19 – Sumário da verificação preliminar do procedimento FCAUP.....	110
Quadro 20 – Lista ranqueada das duplas inspeções em um reboque acabado típico	117
Quadro 21 – Lista ranqueada das principais inferências em um reboque acabado típico	118
Quadro 22 – Etapas FCAUP para auditoria interna do SGQ da API América Latina	122
Quadro 23 – Classificação de alguns registros da API América Latina	124
Quadro 24 – Dupla inspeção relativa à auditoria interna	126
Quadro 25 – Lista das principais inferências relativas à auditoria interna	126
Quadro 26 – Comparação entre algumas auditorias realizadas na API América Latina	132
Quadro 27 – Respostas para as questões de pesquisa e verificação dos pressupostos	134
Quadro 28 – Resumo da divulgação acadêmica desta pesquisa de doutorado.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Publicações envolvendo avaliação de conformidade e Princípio da Incerteza.....	25
Tabela 2 – Tarifas médias sobre produtos manufaturados como percentual do valor	34
Tabela 3 – Publicações envolvendo referências à teoria quântica.....	77
Tabela 4 – Cálculos com 3 graus de confiança na conformidade e 5 zonas de incerteza	90
Tabela 5 – Matriz de decisão com 3 graus de confiança na condição de conformidade.....	90
Tabela 6 – Cálculos com 5 graus de confiança na conformidade e 9 zonas de incerteza	91
Tabela 7 – Matriz de decisão com 5 graus de confiança na condição de conformidade.....	92
Tabela 8 – Cálculos com 7 graus de confiança na conformidade e 13 zonas de incerteza	93
Tabela 9 – Matriz de decisão com 7 graus de confiança na condição de conformidade.....	94
Tabela 10 – Resumo quantitativo da <i>checklist</i> existente para aceitação de reboques	114
Tabela 11 – Recomendação para duplas inspeções conforme percepção do revendedor	115
Tabela 12 – Recomendação para duplas inspeções conforme novas <i>checklists</i> A, B e C....	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>Automated Precision Inc.</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASCO	<i>ISO Committee on Conformity Assessment</i>
CEP	Controle Estatístico de Processos
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CREI	<i>Conformity record evaluation index</i>
CWQC	<i>Company Wide Quality Control</i>
DTC	<i>Degree of trust in conformity status</i>
EEL/USP	Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo
EPR	Einstein-Podolsky-Rosen
EUA	Estados Unidos da América
FCAUP	<i>Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle</i>
FEG/UNESP	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IJPE	<i>International Journal of Production Economics</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISIR	<i>Initial Sample Inspection Request</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISSN	<i>International Standard Serial Number</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LLC	<i>Limited Liability Company</i>
Ltda.	Limitada (sociedade empresarial de responsabilidade limitada)
MEC	Ministério da Educação
MQ	Mecânica Quântica
NBR	Norma Brasileira
OE	Objetivos específicos
OG	Objetivo geral
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i>
OMC	Organização Mundial do Comércio
P	Pressuposto
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PLR	<i>Particle-like record</i>
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
QP	Questão de pesquisa
SBAC	Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SP	São Paulo
TIB	Tecnologia Industrial Básica
TN	Tennessee
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
WLR	<i>Wave-like record</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

I	energia irradiada
ν	frequência de radiação
$\tilde{\nu}$	frequência de pico
E	energia
n	número inteiro
h	constante de Planck
J	Joule
s	segundo
λ	comprimento de onda
p	momento
m	massa
v	velocidade
F	força
a	aceleração
x	posição
t	tempo
T	energia cinética
Ψ	função de onda
i	unidade imaginária de números complexos
$\hbar$	constante reduzida de Planck
V	energia potencial
$ \psi(t)\rangle$	vetor que representa o estado da partícula em função do tempo em um espaço vetorial
ω	variável dinâmica da Mecânica Clássica
Ω	variável dinâmica da Mecânica Quântica
$\mathcal{H}$	operador hamiltoniano (o valor observável corresponde à energia total do sistema)
σ_x	desvio-padrão da posição x
σ_p	desvio-padrão do momento p
u.a.	unidade de medida de área
u.l.	unidade de medida linear
ft-lbf	pés libra-força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	RELEVÂNCIA DA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE	17
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	23
1.4	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA.....	24
1.5	RESUMO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	25
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	33
2.1	AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE.....	33
2.1.1	Contexto Global e Resumo Histórico.....	33
2.1.2	Conceitos Básicos da Avaliação da Conformidade.....	38
2.1.3	Vocabulário e Normas da Avaliação da Conformidade	44
2.1.4	Avaliação da Conformidade, Qualidade e Sistemas de Gestão	47
2.1.5	Avaliação da Conformidade e Inspeção	52
2.1.6	Avaliação da Conformidade no Contexto Industrial	55
2.2	NOÇÕES SOBRE MECÂNICA QUÂNTICA	57
2.2.1	Resumo Histórico.....	57
2.2.2	Conceitos e Interpretações da Mecânica Quântica	62
2.2.3	O Princípio da Incerteza	69
2.2.4	Aplicações e Discussões Além da Física.....	71
3	MÉTODO	78
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	78
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....	81
3.2.1	Definição do Roteiro de Atividades.....	81
3.2.2	Planejamento do Estudo de Campo.....	82
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.1	DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO FCAUP	84
4.1.1	Incerteza e Abordagens da Avaliação de Conformidade.....	84
4.1.2	A Analogia Inspirada pelo Princípio da Incerteza	95
4.1.3	Descrição do Procedimento FCAUP	100
4.2	RESULTADOS OBTIDOS	105
4.2.1	Verificação Preliminar do Procedimento FCAUP	105

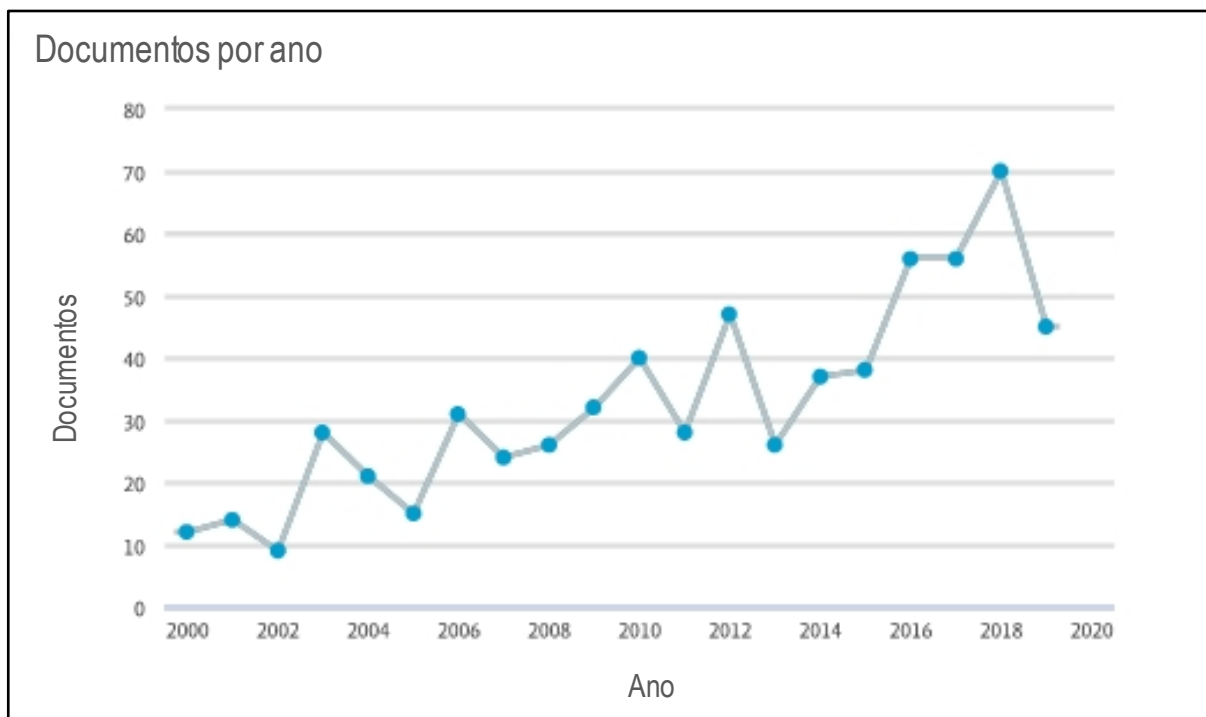
4.2.2	Resultados da Implementação Piloto do Procedimento FCAUP	112
4.2.3	Resultados da Aplicação Prática do Procedimento FCAUP	120
4.3	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	129
4.3.1	Quanto à Implementação Piloto do Procedimento FCAUP	129
4.3.2	Quanto à Aplicação Prática do Procedimento FCAUP	131
4.3.3	Quanto à Divulgação Acadêmica do Procedimento FCAUP	135
5	CONCLUSÃO	137
5.1	VERIFICAÇÃO QUANTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA	137
5.2	VERIFICAÇÃO QUANTO À CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA	138
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	139
	REFERÊNCIAS	140
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	149
	APÊNDICE A – Acesso às Planilhas Operacionais FCAUP	153
	APÊNDICE B – Primeiro Artigo Acadêmico sobre FCAUP	154
	APÊNDICE C – Plano de Implementação de FCAUP na Boatmate Trailers	157
	APÊNDICE D – Relatório da Implementação de FCAUP na Boatmate Trailers	158
	APÊNDICE E – Plano de Implementação de FCAUP na API América Latina	159
	APÊNDICE F – Relatório da Implementação de FCAUP na API América Latina	160
	APÊNDICE G – Segundo Artigo Acadêmico sobre FCAUP	161
	APÊNDICE H – Apresentação da Pesquisa na Universidade de Harvard	162
	ANEXO A – Exemplo de Registro Real da Empresa A	163
	ANEXO B – Exemplo de Registro Real da Empresa B	164
	ANEXO C – Exemplo de Registro Real da Empresa C	165
	ANEXO D – Exemplos de Registros da Boatmate Trailers	166
	ANEXO E – Exemplos de Registros da API América Latina	167
	ANEXO F – Declaração sobre Doutorado Sanduíche na UTK	168

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE

A avaliação da conformidade envolve atividades para demonstrar cumprimento de requisitos especificados para produtos, processos, sistemas, pessoas ou organizações de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005a). O tema, também referido como avaliação de conformidade, tem apresentado crescimento em termos de publicações em periódicos científicos internacionais nos últimos anos. Uma das possíveis formas de se apurar esta informação envolve uma consulta simples às principais bases referenciais disponíveis com a palavra-chave “*conformity assessment*”. Como exemplo, a Figura 1 apresenta a evolução quantitativa deste assunto em termos de publicações internacionais nos últimos vinte anos conforme consulta à base *Scopus* via Portal de Periódicos CAPES/MEC.

Figura 1 – Evolução das publicações sobre avaliação da conformidade nos últimos 20 anos

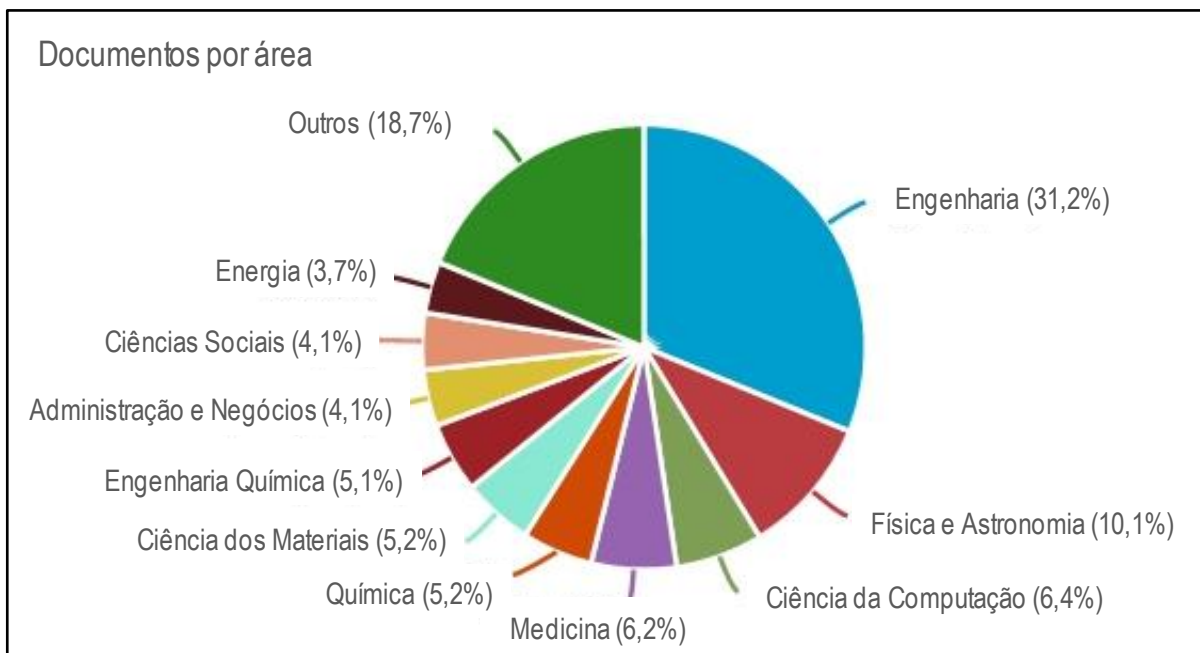


Fonte: Baseado em Brasil (2020).

A consulta à base *Scopus* por intermédio do Portal de Periódicos CAPES/MEC também indicou que a Engenharia é a área do conhecimento que apresenta a maior quantidade de publicações sobre o tema avaliação da conformidade (vide Figura 2). Quanto aos países que

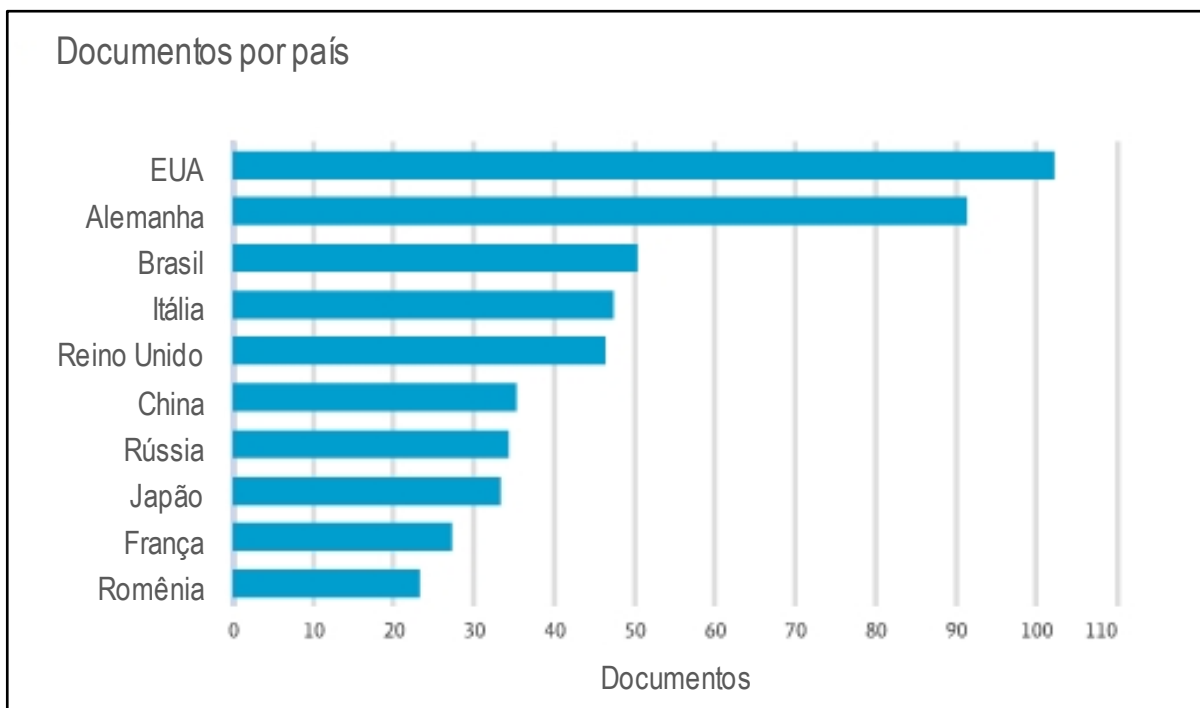
mais publicam trabalhos relativos à avaliação de conformidade, destacam-se Estados Unidos, Alemanha, Brasil, Itália e Reino Unido conforme evidenciado na Figura 3.

Figura 2 – Publicações sobre avaliação da conformidade por área de conhecimento



Fonte: Baseado em Brasil (2020).

Figura 3 – Publicações sobre avaliação da conformidade por país

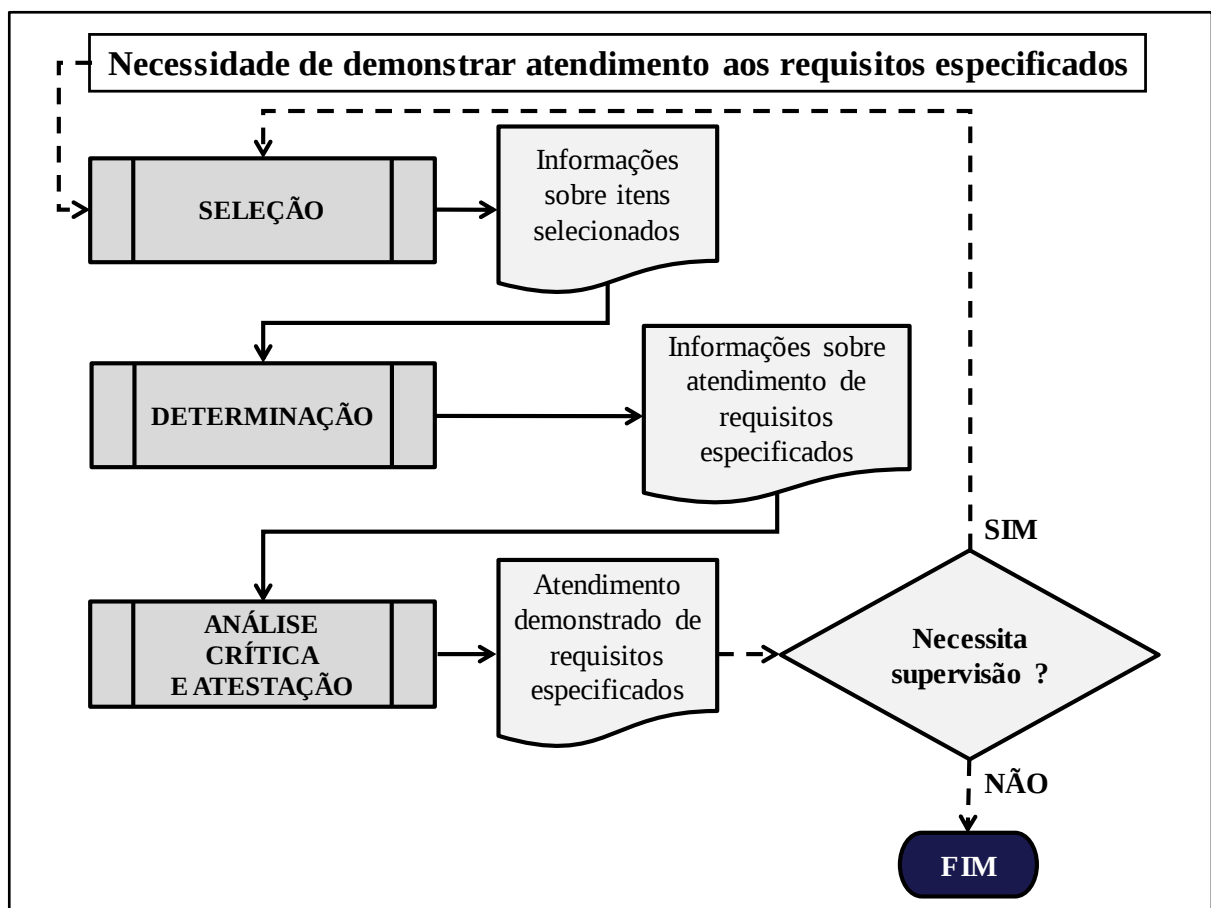


Fonte: Baseado em Brasil (2020).

A avaliação de conformidade proporciona diversos benefícios às atividades humanas nos mais variados aspectos, tais como incentivo ao comércio internacional, competição justa, desenvolvimento sustentável, responsabilidade ambiental, encorajamento à melhoria da qualidade e proteção ao consumidor, valorização de marcas e produtos, entre outros (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2007). Conforme ilustração exibida na Figura 4, a avaliação de conformidade pode ser interpretada como um arranjo composto por três funções que satisfazem a necessidade ou demanda pela demonstração quanto ao atendimento de requisitos especificados:

- seleção;
- determinação;
- análise crítica e atestação.

Figura 4 – Arranjo funcional para avaliação da conformidade



Fonte: ABNT (2005a).

Conforme ABNT (2005a) e INMETRO (2007), há três tipos de avaliação da conformidade:

- Avaliação da conformidade de primeira parte – atividade de avaliação que é realizada pela pessoa ou organização que fornece o objeto;
- Avaliação da conformidade de segunda parte – atividade de avaliação que é realizada por uma pessoa ou uma organização que tem interesse no objeto;
- Avaliação da conformidade de terceira parte – atividade de avaliação que é realizada por uma pessoa ou uma organização que é independente da pessoa ou organização que fornece o objeto.

As técnicas mais comuns para avaliar conformidade nas diversas áreas são inspeção, amostragem, ensaios, avaliação do sistema de gestão da qualidade e auditoria. Conforme algumas referências pesquisadas, dentre as quais Carvalho (2012), Ferreira (2012), Forza e Filippini (1998), Gookins (1999), Juran (1999), Klenovsky (2006), Liepina *et al.* (2014), Marsall-Llacuna (2018), Paladini (2012), Prazeres (1997), Simon *et al.* (2011) e Squirrell (2008), constatou-se a existência de relação entre gestão da qualidade, inspeção e avaliação de conformidade nas empresas industriais.

Em condições operacionais normais a avaliação de conformidade requerida na indústria manufatureira ocorre somente após o ciclo fabril interno estar concluído, devidamente inspecionado e documentado. Neste contexto, ressalta-se também a importância desempenhada pelos registros e evidências documentais das inspeções previamente executadas durante a etapa de determinação da avaliação de conformidade, tais como relatórios dimensionais, relatórios de inspeção e ensaios, entre outros. Em diversas situações práticas durante a realização de avaliação de conformidade em indústrias e laboratórios, uma questão central que se apresenta é a escolha de uma entre três possíveis abordagens em relação aos registros de inspeção disponíveis:

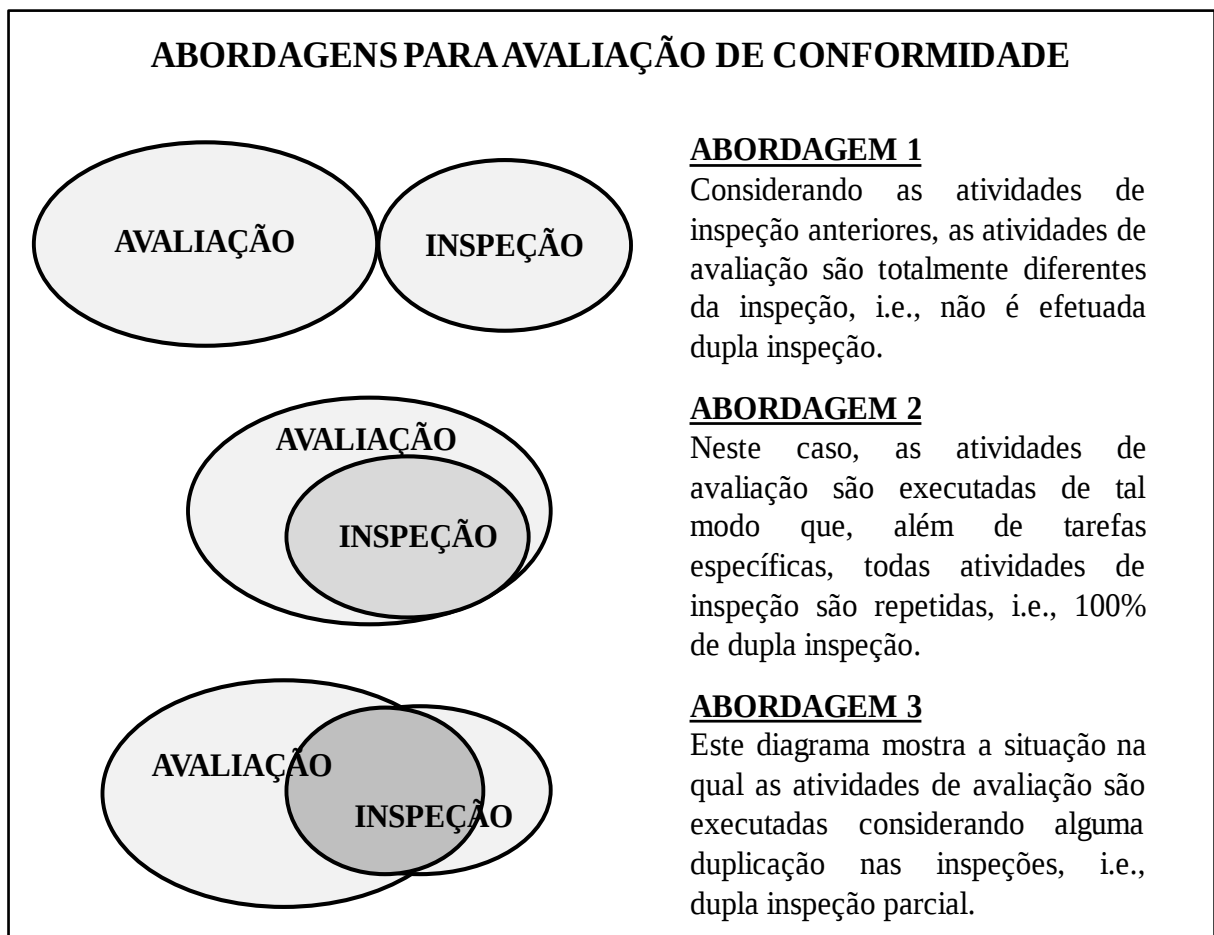
- Abordagem 1 – realizar a avaliação de conformidade sem executar dupla inspeção em relação aos registros disponíveis;
- Abordagem 2 – realizar a avaliação de conformidade juntamente com completa dupla inspeção baseada em todos os registros disponíveis;
- Abordagem 3 – realizar a avaliação de conformidade a partir de dupla inspeção parcial relativa aos registros disponíveis.

Considerando que a abordagem 1 (ausência de dupla inspeção) não oferece oportunidade para descobrir falhas nas inspeções prévias e que a abordagem 2 (dupla inspeção completa) pode ser inviável em muitas situações práticas, então a abordagem 3 (dupla inspeção parcial) destaca-se como uma boa estratégia, extensivamente utilizada em avaliação de conformidade.

Entretanto, a adoção da abordagem 3 endereça uma nova questão: qual a magnitude das duplas inspeções para eliminar ou, pelo menos, diminuir os riscos envolvidos nesta escolha?

Uma resposta adequada para esta questão define o que deve ser considerado mandatório e o que pode ser considerado desprezível, mas tal resposta nem sempre é tão evidente e, em muitas ocasiões, o entendimento do que é mandatório e do que é desprezível pode ser crucial para obtenção de bons resultados na avaliação de conformidade. Um resumo esquemático das possíveis abordagens relativas à prática da avaliação de conformidade em relação aos registros de inspeção disponíveis é apresentado na Figura 5. Existem muitos métodos que podem ser adotados para resolver esta situação, tais como julgamento técnico, amostragem, técnicas para tomada de decisão, ranqueamento, seleção baseada em limitações identificadas ou, até mesmo, escolhas empíricas. As questões de pesquisa, bem como os pressupostos e as proposições decorrentes desta discussão estão detalhados nas seções subsequentes.

Figura 5 – Possíveis abordagens na relação entre avaliação de conformidade e inspeção



Fonte: Produção do próprio autor.

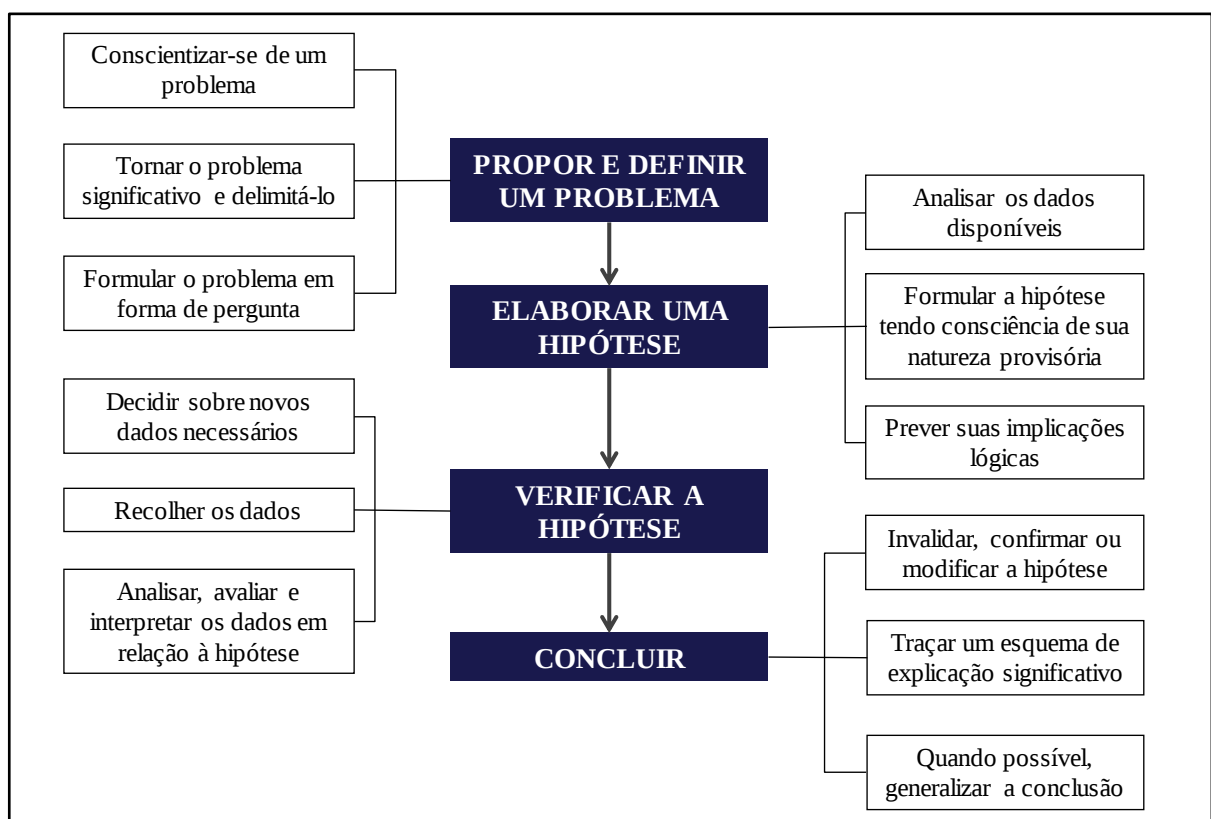
1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

Sob o ponto de vista de Laville e Dionne (1999), as ciências naturais (exatas) e as ciências humanas (sociais), em seus respectivos procedimentos de construção do saber, partilham essencialmente as mesmas preocupações:

- Centrar a pesquisa na compreensão de problemas específicos;
- Assegurar, pelo método de pesquisa, a validade da compreensão;
- Superar as barreiras que poderiam dificultar a compreensão.

Portanto, segundo a interpretação destes autores, o caminho a ser percorrido em uma investigação ancorada em um método científico deverá conter algumas etapas principais, bem como determinadas operações intelectuais complementares conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Etapas do método científico



Fonte: Laville e Dionne (1999).

Considerando o contexto exposto na seção anterior, que destaca a relação entre inspeção e avaliação de conformidade na indústria, a compreensão obtida por meio da estruturação desta investigação acadêmica, juntamente com as etapas iniciais da revisão bibliográfica, apontou para as seguintes questões de pesquisa (QP) a serem discutidas:

- (QP.1) Sendo a abordagem 1 (ausência de dupla inspeção em registros) não recomendável e a abordagem 2 (dupla inspeção completa dos registros) inviável em muitos casos, pode-se considerar que a abordagem 3 (dupla inspeção parcial dos registros) é realmente a opção mais adequada para a realização das atividades de avaliação de conformidade?
- (QP.2) É possível mitigar os riscos inerentes ao processo de avaliação de conformidade quando a dupla inspeção parcial dos registros (abordagem 3) é adotada?
- (QP.3) Qual deve ser a magnitude das duplas inspeções parciais? Como definir as duplas verificações mandatórias e aquelas que podem ser descartadas?

Uma descrição resumida de cada questão de pesquisa (QP), juntamente com o pressuposto (P) associado é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Definição das questões de pesquisa e de seus respectivos pressupostos

PROBLEMA	PRESSUPOSTO
<i>QP.1 (QUESTÃO DE PESQUISA Nº 1) A dupla inspeção parcial de registros é a opção mais adequada para a realização da avaliação de conformidade?</i>	<i>P.1 (PRESSUPOSTO PARA A QUESTÃO Nº 1) A dupla inspeção parcial é vantajosa especialmente quando há uma grande quantidade de registros de inspeção disponíveis para a realização das atividades de avaliação de conformidade.</i>
<i>QP.2 (QUESTÃO DE PESQUISA Nº 2) É possível mitigar os riscos inerentes ao processo de avaliação de conformidade nos casos em que a dupla inspeção parcial dos registros é adotada?</i>	<i>P.2 (PRESSUPOSTO PARA A QUESTÃO Nº 2) A realização da avaliação de conformidade por meio de um procedimento estruturado tende a reduzir os riscos (efeitos da incerteza) decorrentes da utilização de dupla inspeção parcial.</i>
<i>QP.3 (QUESTÃO DE PESQUISA Nº 3) Qual deve ser a magnitude das duplas inspeções parciais e como definir o que é mandatório?</i>	<i>P.3 (PRESSUPOSTO PARA A QUESTÃO Nº 3) A quantidade recomendada de duplas inspeções é diretamente proporcional à incerteza envolvida no processo e é inversamente proporcional ao grau de confiança na condição prévia da conformidade do objeto sob avaliação. A priorização das duplas inspeções pode ser efetuada por meio de julgamento qualitativo e amostragem não probabilística (amostragem intencional).</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral (OG) desta pesquisa de doutorado é desenvolver um procedimento estruturado, inspirado por uma analogia com o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica, para planejamento e realização das atividades de avaliação de conformidade em produtos

diversos, bem como em processos industriais, laboratoriais e de desenvolvimento de produtos. Além disso, os seguintes objetivos específicos (OE) podem ser elencados:

- (OE.1) Evidenciar que a incerteza inerente ao processo de avaliação de conformidade, quando interpretada por meio de uma rotina estruturada, pode ser contornada com o estabelecimento de contramedidas que possibilitam um resultado confiável da avaliação;
- (OE.2) Verificar se a utilização de dupla inspeção planejada a partir de amostragem não-probabilística (amostragem intencional) e julgamento qualitativo constituem uma estratégia adequada para a realização das atividades de avaliação de conformidade.

É importante ressaltar que o atingimento do objetivo OE.1 está relacionado à confirmação dos pressupostos P.1 e P.2, assim como a validação do pressuposto P.3 propicia a consecução do objetivo OE.2. Por sua vez, os pressupostos P.1, P.2 e P.3 são as respostas esperadas, e adequadamente embasadas pela teoria proposta por este trabalho, para as questões de pesquisa QP.1, QP.2 e QP.3, respectivamente. O Quadro 2 apresenta um resumo codificado da relação entre objetivos, pressupostos e questões desta pesquisa de doutorado.

Quadro 2 – Relação entre objetivos, pressupostos e questões desta pesquisa

OBJETIVO GERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PRESSUPOSTOS	QUESTÕES DE PESQUISA
(OG)	(OE.1)	(P.1)	(QP.1)
		(P.2)	(QP.2)
	(OE.2)	(P.3)	(QP.3)

Fonte: Produção do próprio autor.

1.4 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

A principal justificativa desta pesquisa de doutorado reside no fato de não haver uma rotina ou um procedimento estruturado para lidar especificamente com as questões relativas a este tipo de incerteza inerente ao processo de avaliação de conformidade. Contudo, é importante enfatizar que a incerteza aqui mencionada não envolve incerteza de medição, visto que tal questão particular é tratada no âmbito da disciplina Metrologia. Alguns exemplos de pesquisas envolvendo incerteza na medição e seus impactos na avaliação de conformidade podem ser encontrados nos trabalhos de Carobbi e Pennechi (2016), Desimoni e Brunetti (2011), Forbes (2006), Hinrichs (2010), Källgren *et al.* (2003), Kuselman *et al.* (2017), Molognoni *et al.* (2017), Pendrill (2014), Theodorou e Zannikos (2014), Tsimillis (2018), entre outros.

A maior contribuição esperada com o desenvolvimento desta pesquisa refere-se à simplificação dos trabalhos de avaliação de conformidade por meio de um procedimento estruturado e original para analisar e delimitar os efeitos da incerteza inerente ao referido processo em empresas e que, além disso, possa caracterizar-se como uma ferramenta adequada para a realização das atividades operacionais. O procedimento em questão denomina-se FCAUP (*Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*) e pode ser resumidamente definido como um guia de cinco etapas, idealmente aplicável em casos nos quais a avaliação de conformidade envolva a verificação de registros de inspeção prévia.

No início da pesquisa, um levantamento quantitativo efetuado junto às bases referenciais *Scopus* e *Web of Science*, via Portal de Periódicos CAPES/MEC, com as palavras-chave *conformity assessment* e *uncertainty principle* combinadas com *analogy* e *framework*, demonstrou a ausência de trabalhos sobre avaliação de conformidade com abordagem semelhante. Tal constatação foi utilizada como ponto de partida para a consolidação do tema, que àquela altura já se supunha original, bem como para o desenvolvimento da pesquisa. Os resultados correspondentes à combinação das palavras-chave em questão em um levantamento quantitativo atualizado referem-se exatamente ao artigo já publicado por este pesquisador durante a elaboração desta tese de doutorado (vide Tabela 1).

Tabela 1 – Publicações envolvendo avaliação de conformidade e Princípio da Incerteza

CONSULTA COMPARATIVA ENTRE AS PRINCIPAIS BASES			CONTAGEM DE ARTIGOS	
<i>palavra-chave 1</i>	<i>palavra-chave 2</i>	<i>palavra-chave 3</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
<i>conformity assessment</i>	-	-	750	430
<i>conformity assessment</i>	<i>uncertainty principle</i>	-	1	1
<i>conformity assessment</i>	<i>uncertainty principle</i>	<i>analogy</i>	1	1
<i>conformity assessment</i>	<i>uncertainty principle</i>	<i>framework</i>	1	1

Fonte: Baseado em Brasil (2020).

1.5 RESUMO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O desenvolvimento de um procedimento estruturado para a realização de atividades relacionadas à avaliação de conformidade (FCAUP) remete ao conceito de ferramentas da qualidade, pois de acordo com Prazeres (1997), este termo é uma expressão de uso geral para designar as ferramentas estatísticas (gráficos de controle, gráficos de dispersão, gráficos de Pareto, histogramas, gráficos de tendência, etc.) e as técnicas especificamente aplicadas à qualidade, tais como ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), CEP (Controle Estatístico de

Processos), FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), entre outros. Assim sendo, é esperado que após sua validação, o procedimento FCAUP se caracterize como uma ferramenta útil para apoiar a realização das atividades de avaliação de conformidade. Uma visão geral desta pesquisa de doutorado é resumida no Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo desta pesquisa de doutorado

TÓPICO	DESCRIÇÃO
<i>Título da Pesquisa de Doutorado</i>	<i>Procedimento para Avaliação de Conformidade baseado em Analogia com o Princípio da Incerteza</i>
<i>Pesquisador (doutorando)</i>	<i>Celso Francisco de Moraes</i>
<i>Orientador</i>	<i>Prof. Dr. Messias Borges Silva</i>
<i>Programa</i>	<i>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da FEG/UNESP</i>
<i>Área de Concentração</i>	<i>Projetos, Gestão e Otimização</i>
<i>Linha de Pesquisa</i>	<i>Gestão da Qualidade e Engenharia Organizacional</i>
<i>Período Sanduíche</i>	<i>Universidade do Tennessee, Knoxville/TN, EUA</i>
<i>Supervisor do Período Sanduíche</i>	<i>Prof. Dr. Rapinder S. Sawhney</i>
<i>Objetivo Geral da Pesquisa</i>	<i>Desenvolver um procedimento estruturado, inspirado em uma analogia com o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica, para planejamento e realização das atividades de avaliação de conformidade</i>
<i>Roteiro da Pesquisa (principais atividades planejadas)</i>	I. <i>Elaboração da teoria (revisão da literatura e definição da analogia);</i> II. <i>Estruturação da arquitetura do procedimento FCAUP;</i> III. <i>Verificação preliminar do procedimento FCAUP (registros reais);</i> IV. <i>Implementação piloto do procedimento FCAUP (EUA);</i> V. <i>Aplicação prática e validação do procedimento FCAUP (Brasil).</i>
<i>Método de Pesquisa</i>	<i>Estudo de campo</i>
<i>Delimitação da Pesquisa</i>	<i>Indústrias manufatureiras e laboratórios de ensaios</i>

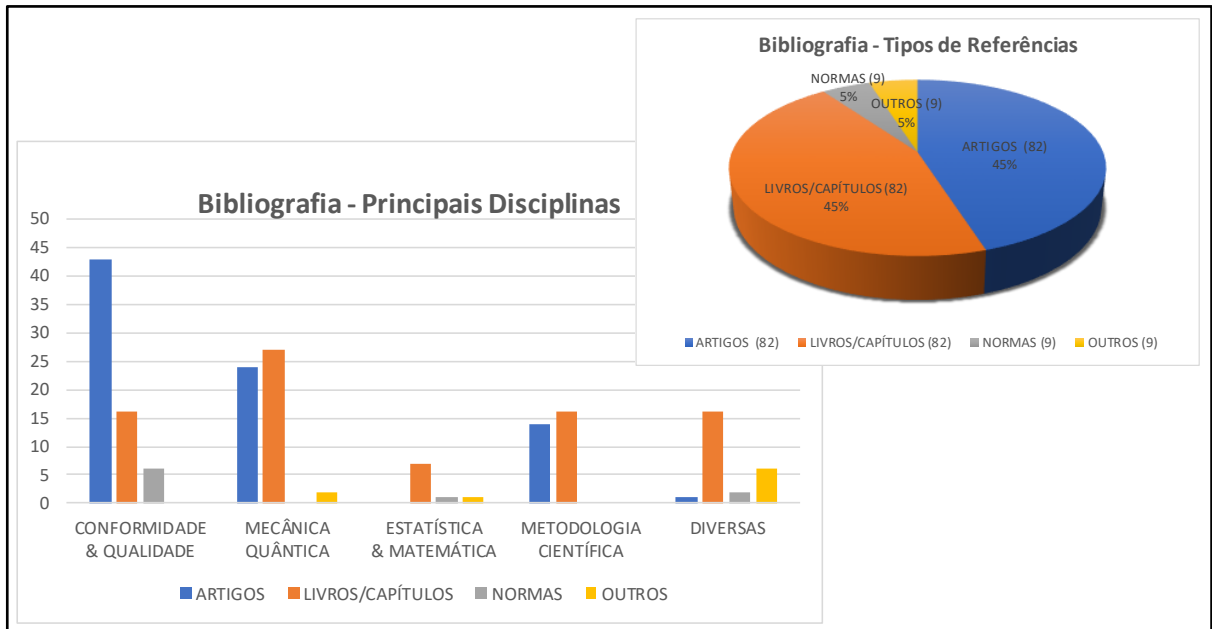
Fonte: Produção do próprio autor.

Embora a avaliação de conformidade envolva produtos, processos, sistemas, pessoas e organizações, o alvo desta pesquisa concentrou-se principalmente em produtos e processos contendo atividades planejadas e regulares de inspeção antes de ações de avaliação de conformidade de primeira parte. Assim sendo, o foco da pesquisa, bem como o alcance inicial dos resultados obtidos, está limitado a indústrias manufatureiras e laboratórios de ensaios.

Durante a realização da pesquisa, além das disciplinas tradicionais relacionadas à linha de pesquisa de Gestão da Qualidade, fez-se necessária uma revisão da literatura sobre Mecânica Quântica para o correto entendimento do Princípio da Incerteza. As Figuras 7 e 8 exibem

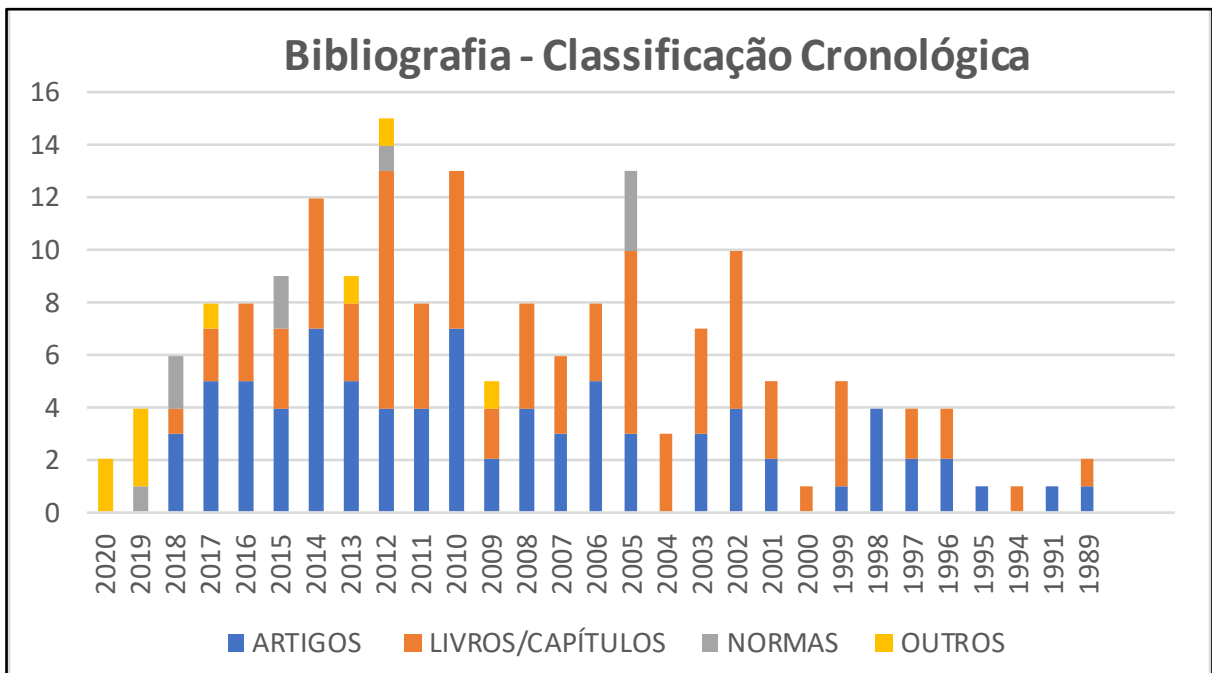
classificações por tipo, disciplina e cronologia das 182 referências bibliográficas consultadas e/ou citadas neste trabalho.

Figura 7 – Referências classificadas por tipo e por disciplina envolvida



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 8 – Referências classificadas por ordem cronológica



Fonte: Produção do próprio autor.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A publicação desta tese e os artigos divulgados em periódicos científicos internacionais são o resultado de uma pesquisa de doutorado relativa à introdução, desenvolvimento e validação de um procedimento operacional denominado FCAUP (*Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*) para planejamento e execução de atividades referentes ao processo de avaliação de conformidade. O referido procedimento teve como principal elemento inspirador o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica por mera casualidade, pois este pesquisador se interessou pelo Princípio da Incerteza em 2012 a partir de uma releitura da obra “Uma Breve História do Tempo: do *Big Bang* aos Buracos Negros” do físico teórico britânico Stephen Hawking (1942-2018). Naquele mesmo ano e nos anos subsequentes, devido a diversas atividades profissionais relativas à avaliação de conformidade em indústrias e em laboratórios de ensaios do Brasil e do exterior, notou-se uma sutil correspondência entre os assuntos.

A partir de 2015, com base em leituras específicas e com maior aprofundamento, esta correspondência foi devidamente estruturada na forma de uma analogia entre a análise qualitativa da avaliação de conformidade e a medição em escala subatômica da mecânica quântica. Após a aprovação do projeto de pesquisa junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da FEG/UNESP em 2017, optou-se pela delimitação da investigação aos processos de avaliação de conformidade em indústrias manufatureiras e laboratórios de ensaios.

A realização desta pesquisa acadêmica é também a concretização de um projeto individual há muito tempo planejado e que só recentemente foi posto em prática: a transição do setor industrial para a área acadêmica. A natureza aplicada da pesquisa e a definição do tema não foram casuais, pois claramente remetem à experiência profissional prévia deste pesquisador.

Os comentários que se seguem visam promover o entendimento global da organização deste trabalho acadêmico, que está estruturado em cinco capítulos: introdução (capítulo 1), revisão da literatura (capítulo 2), método (capítulo 3), resultados e discussão (capítulo 4) e conclusão (capítulo 5). Cada capítulo está dividido em seções e, conforme aplicável, em subseções para maior detalhamento dos tópicos. Já foram apresentados até aqui no capítulo 1 os seguintes tópicos: a relevância do tema avaliação de conformidade no contexto das diversas atividades humanas, as questões a serem investigadas e os pressupostos associados, a determinação do objetivo geral e dos objetivos específicos, a contribuição acadêmica, a delimitação do alcance dos resultados, além de uma visão resumida da pesquisa.

O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, que retrata a revisão da literatura iniciada imediatamente após a definição do tema e que se estendeu por quase todo período de realização desta pesquisa. São abordados os vários aspectos conceituais da avaliação de conformidade, o contexto global que envolve a disciplina, assim como os seus principais impactos na economia global e em especial as relações com a gestão da qualidade e a competitividade na indústria. Também são apresentadas noções básicas sobre Mecânica Quântica, com destaque para os aspectos históricos, conceitos e interpretações que conduziram à publicação do Princípio da Incerteza em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976). No final do capítulo são destacadas algumas aplicações da Mecânica Quântica, bem como exemplos selecionados de pesquisas que discutiram os impactos da disciplina nas mais diversas áreas do conhecimento humano.

O método de pesquisa utilizado neste trabalho de doutorado é apresentado no capítulo 3 com a completa caracterização da pesquisa com base na literatura da área de metodologia de pesquisa científica. Além disso, é apresentado o roteiro das principais atividades planejadas para a consecução dos objetivos de pesquisa. No capítulo 4 são abordados alguns aspectos práticos, bem como a incerteza inerente ao processo de avaliação de conformidade em complementação às considerações inicialmente apresentadas na primeira seção deste capítulo introdutório. A analogia conceitual estabelecida entre o processo de avaliação de conformidade e o Princípio da Incerteza é descrita em detalhes e, a partir desta correspondência, é apresentado o procedimento estruturado para planejamento e execução de atividades da avaliação de conformidade, que está sendo divulgado no meio acadêmico pelo acrônimo FCAUP. No capítulo 4 também estão contidos os seguintes tópicos:

- Análise preliminar sobre a utilidade do procedimento proposto com base em verificações teóricas a partir da releitura de documentos e registros provenientes de avaliações de conformidade reais;
- Resultados da implementação piloto do procedimento FCAUP na empresa Boatmate Trailers em Maryville/TN, EUA;
- Resultados da aplicação prática do procedimento FCAUP na empresa API América Latina em São José dos Campos/SP, Brasil;
- Discussão dos resultados obtidos.

A conclusão do trabalho no capítulo 5 complementa a argumentação por meio das considerações provenientes da análise crítica dos resultados obtidos nos diversos cenários estabelecidos e da verificação quanto ao atingimento dos objetivos, bem como da contribuição

acadêmica da pesquisa. Também são indicadas algumas sugestões para pesquisas futuras, advindas tanto das limitações encontradas durante o desenvolvimento deste estudo quanto das possibilidades, inicialmente não consideradas, que surgiram em decorrência da revisão detalhada da literatura e por meio da execução das atividades práticas. Na parte final do trabalho são listadas as referências bibliográficas que possibilitaram a revisão da literatura para aprofundamento do tema e consolidação da teoria, bem como uma relação da bibliografia complementar consultada que, mesmo sem citação textual, contribuiu para o entendimento do tema e a realização da pesquisa.

Além disso, informações adicionais, tais como planos e relatórios de atividades realizadas, assim como alguns resultados parciais alcançados durante o desenvolvimento desta pesquisa foram incluídos como apêndices:

- Apêndice A – Acesso às Planilhas Operacionais FCAUP
Link para acesso às planilhas de apoio para as atividades operacionais do procedimento FCAUP e que estão armazenadas em nuvem da *internet*.
- Apêndice B – Primeiro Artigo Acadêmico sobre FCAUP
 Artigo de introdução do procedimento FCAUP publicado em set. 2018 no *International Journal of Production Economics* (ISSN 0925-5273, fator de impacto JCR/2018: 4.998, Qualis/CAPES A1/Engenharias III) com o título “*Framework for conformity assessment based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP)*”.
- Apêndice C – Plano de Implementação de FCAUP na Boatmate Trailers
 Visualização do plano de implementação piloto do procedimento FCAUP na empresa Boatmate Trailers em Maryville, Tennessee/EUA.
- Apêndice D – Relatório da Implementação de FCAUP na Boatmate Trailers
 Visualização do relatório da implementação piloto do procedimento FCAUP.
- Apêndice E – Plano de Implementação de FCAUP na API América Latina
 Visualização do plano de implementação do procedimento FCAUP na empresa API América Latina em São José dos Campos/SP.
- Apêndice F – Relatório da Implementação de FCAUP na API América Latina
 Visualização do relatório da aplicação prática do procedimento FCAUP.
- Apêndice G – Segundo Artigo Acadêmico sobre FCAUP
 Resumo do artigo relativo à aplicação prática do procedimento FCAUP submetido em mar. 2020 junto ao *TQM Journal* (ISSN 1754-2731, fator de impacto JCR/2018: 2.470,

Qualis/CAPES A1/Administração) com o título “*Implementation of FCAUP – framework for conformity assessment inspired by the Uncertainty Principle*”.

- Apêndice H – Apresentação da Pesquisa na Universidade de Harvard

Folha de rosto e visualização de trechos da apresentação sobre o procedimento FCAUP efetuada em maio de 2019 para o grupo de pesquisa do Prof. Dr. Eric Mazur, físico e pesquisador na Universidade de Harvard em Cambridge, Massachusetts/EUA.

Para complementar os diversos aspectos abordados neste trabalho, os seguintes documentos foram anexados:

- Anexo A – Exemplo de Registro Real da Empresa A

Exemplo de registro real da empresa com codinome A que foi uma das referências utilizadas durante a verificação teórica do procedimento FCAUP.

- Anexo B – Exemplo de Registro Real da Empresa B

Exemplo de registro real da empresa com codinome B que foi uma das referências utilizadas durante a verificação teórica do procedimento FCAUP.

- Anexo C – Exemplo de Registro Real da Empresa C

Exemplo de registro real da empresa com codinome C que foi uma das referências utilizadas durante a verificação teórica do procedimento FCAUP.

- Anexo D – Exemplos de Registros da Boatmate Trailers

Visualização parcial de alguns registros obtidos junto à empresa Boatmate Trailers de Maryville/TN, EUA.

- Anexo E – Exemplos de Registros da API América Latina

Visualização parcial de alguns documentos do sistema de gestão da qualidade da empresa API América Latina de São José dos Campos/SP.

- Anexo F – Declaração sobre Doutorado Sanduíche na UTK

Declaração do Departamento de Engenharia Industrial e de Sistemas da Universidade do Tennessee, Knoxville/TN, EUA, referente ao período como pesquisador visitante (dez. 2018 a jun. 2019) sob a supervisão do Prof. Dr. Rapinder S. Sawhney

Também merece destaque o aprendizado obtido a partir desta investigação acadêmica concebida com características interdisciplinares: imergir nos aspectos históricos e conceituais da Mecânica Quântica e associá-los aos principais aspectos práticos e operacionais da avaliação de conformidade foi uma boa oportunidade para entender o quão interligadas estão as diversas áreas do conhecimento humano.

Além da compreensão adquirida com as leituras relacionadas à pesquisa bibliográfica e também com os resultados práticos obtidos, não há como dimensionar o aprendizado advindo da interação com o orientador e os demais professores e pesquisadores no campus da UNESP em Guaratinguetá/SP, do intercâmbio com outros professores e pesquisadores de várias partes do mundo no campus da Universidade do Tennessee em Knoxville/TN, da cooperação com a gerência e os inspetores da Boatmate Trailers em Maryville/TN e da integração com a gerência e os demais funcionários da API América Latina em São José dos Campos/SP. Os agradecimentos nominalmente registrados na parte inicial deste trabalho retratam o reconhecimento e o respeito deste pesquisador em relação a todas essas pessoas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE

2.1.1 Contexto Global e Resumo Histórico

Um fenômeno que tem afetado de modo decisivo as atividades econômicas, políticas, sociais e culturais ao redor do mundo é o que se convencionou chamar nas últimas décadas de globalização, com impacto no comportamento dos indivíduos, dos grupos, das organizações e dos governos. Segundo Silva e Manha (2001), a globalização caracteriza-se por uma maior fluidez nas transações de qualquer tipo, por meio da eliminação de obstáculos em sua realização; sendo que tal integração foi iniciada há mais de cinco séculos pela descoberta de uma rota marítima para as Índias, juntamente com a descoberta das terras do Novo Mundo. Conforme explicado a seguir, a designação globalização passou a ser utilizada recentemente:

Argumenta-se que os círculos acadêmicos não reconheceram o termo globalização até a década de 1980 e, inquestionavelmente, depois que Marshall McLuhan introduziu o termo “aldeia global” em 1960. O livro *Understanding Media* de McLuhan fez com que a ideia de uma aldeia global interconectada por um sistema nervoso eletrônico se tornasse parte de nossa cultura (ADEKOLA e SERGI, 2007, p. 1).

Silva e Manha (2001) definem três períodos associados à globalização (vide resumo no Quadro 4): a primeira fase, ou primeira globalização, dominada pela expansão mercantilista da economia europeia entre os anos de 1450 a 1850; a segunda fase, ou segunda globalização, de 1850 a 1950, caracterizada pelo expansionismo industrial-imperialista e colonialista; e, por último, a globalização propriamente dita, ou globalização recente, acelerada a partir do colapso da antiga União Soviética e a queda do muro de Berlim, ou seja, de 1989 até os dias atuais.

Quadro 4 – Períodos da globalização

<i>DATA</i>	<i>PERÍODO</i>	<i>CARACTERIZAÇÃO</i>
<i>1450-1850</i>	<i>Primeira Fase</i>	<i>Expansionismo mercantilista</i>
<i>1850-1950</i>	<i>Segunda Fase</i>	<i>Industrial, imperialista e colonialista</i>
<i>Pós 1989</i>	<i>Globalização Recente</i>	<i>Cibernética, tecnológica e associativa</i>

Fonte: Silva e Manha (2001).

Em relação ao período recente de globalização, Hill e Hult (2017) apontam dois macro fatores: o primeiro é o declínio das barreiras do livre fluxo de bens, serviços e capital, que tem ocorrido desde o final da Segunda Guerra Mundial, ao passo que o segundo fator é a mudança

tecnológica, particularmente o dramático desenvolvimento nas últimas décadas em comunicação, processamento de informação e tecnologias em transporte. Na visão de Silva e Manha (2001) a globalização econômica compreende três tendências: participação crescente no comércio internacional de mercadorias e serviços; maior mobilidade do capital em nível internacional; rápida difusão de novas tecnologias, formas de organização do processo produtivo e práticas de mercado. A Tabela 2 apresenta a queda das barreiras ao comércio internacional verificadas a partir do início do século XX em diferentes países.

Tabela 2 – Tarifas médias sobre produtos manufaturados como percentual do valor

	1913	1950	1990	2014
Alemanha	20%	26%	5,9%	1,5%
Estados Unidos	44%	14%	4,8%	1,5%
França	21%	18%	5,9%	1,5%
Holanda	5%	11%	5,9%	1,5%
Itália	18%	25%	5,9%	1,5%
Japão	30%	—	5,3%	1,3%
Reino Unido	—	23%	5,9%	1,5%
Suécia	20%	9%	4,4%	1,5%

Fonte: Hill e Hult (2017).

Conforme descrito por Wagner (1996), a expansão dos mercados internacionais em bens de consumo tem sido acompanhada por duas questões:

- Como os consumidores podem estar seguros de que os produtos que eles compram atendem exatamente aos padrões de segurança?
- Como as agências reguladoras que monitoraram o mercado podem garantir que os padrões não funcionem como barreiras ao livre comércio?

Wagner (1996) comenta ainda que há evidências de que a duplicação de requisitos para realização de ensaios não proporciona, com frequência, maior garantia de segurança; ao invés disso, tal duplicação somente aumenta os custos e atrasos na introdução de produtos no mercado. Assim sendo, é bastante razoável que se estimule o uso de padrões de desempenho internacionalmente aceitos, o reconhecimento mútuo de procedimentos entre países para garantir conformidade aos padrões, e a maior transparência em requisitos de segurança para garantir que padrões não sejam utilizados com propósitos protecionistas.

Os avanços em tecnologia, com impactos positivos em comunicação, informação e transporte, mudaram definitivamente as relações comerciais e econômicas. Conforme elencado por Ferrell e Hartline (2010), existem importantes desafios e oportunidades afetando as estratégias de mercado nesta nova economia global:

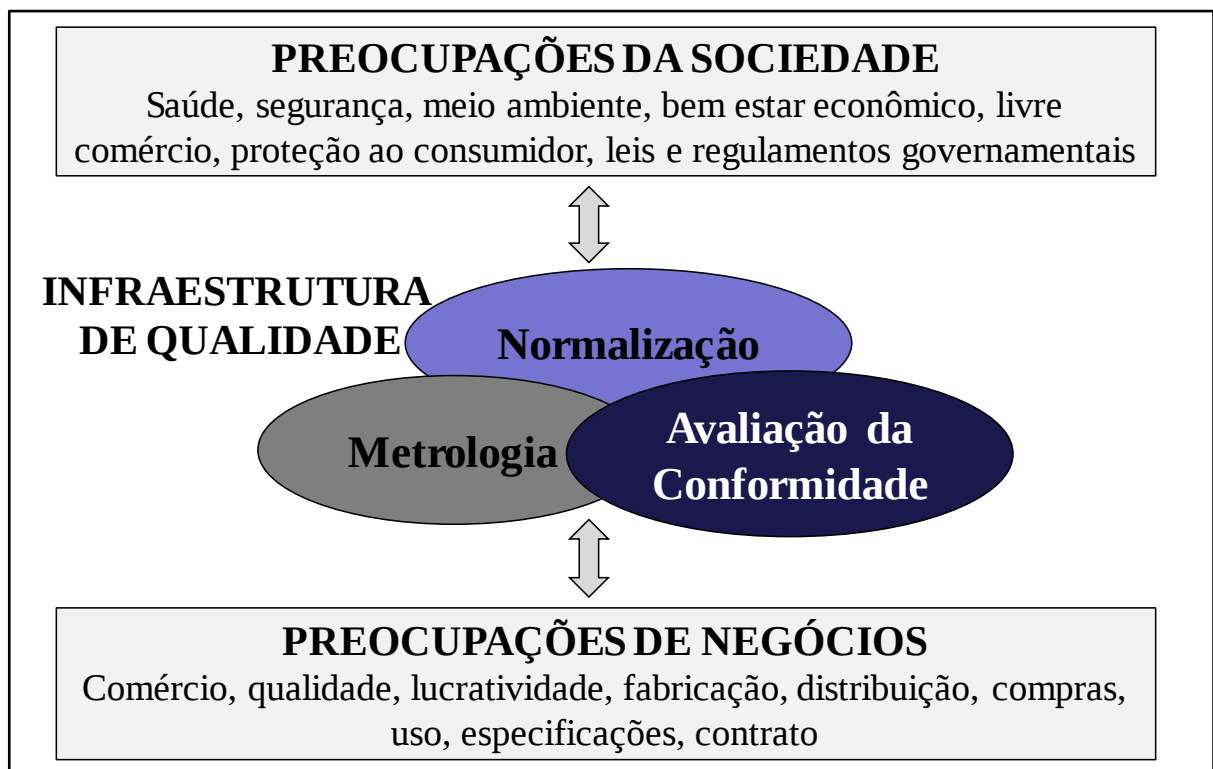
- O poder se desloca para os consumidores, dado que em vez de as empresas manipularem os consumidores via tecnologia, são estes que geralmente manipulam as empresas devido ao acesso à informação e à capacidade de compra comparada;
- Grande aumento na seleção de produtos, pois a variedade e o sortimento de bens e serviços oferecidos é impressionante;
- Fragmentação da audiência e da mídia, consequência direta da quantidade de opções de mídia disponíveis;
- Mudança nas proposições de valor, porque a velocidade e a eficiência do comércio atual mudaram a forma pela qual os clientes percebem o valor;
- Mudança nos padrões de demanda, visto que, em alguns casos, as mudanças na tecnologia tiraram a demanda de clientes por determinadas categorias de produto, gerando novos interesses;
- Novas fontes de vantagem competitiva, por exemplo parcerias e alianças entre empresas;
- Privacidade, segurança e preocupações éticas, pois as mudanças tecnológicas tornaram a sociedade atual muito mais aberta do que no passado;
- Jurisdição legal incerta, resultado dos dilemas enfrentados pelas empresas que negociam em diversos países e com diferentes sistemas jurídicos.

Segundo INMETRO (2007), o processo de globalização é, por natureza, ao mesmo tempo includente e excludente. Por um lado, é includente porque traz para o contexto mundial, países até então não participantes da produção de inúmeros itens. Por outro lado, é excludente porque a distribuição das oportunidades e encargos de produção cabe, preferencialmente, àqueles países que reúnem as melhores condições de infraestrutura para a obtenção de maiores níveis de competitividade. Portanto, os países devem buscar alcançar autossuficiência tecnológica e industrial que torne possível desenvolver os níveis de qualidade e competitividade, garantido a permanência ou inserção das nações no processo de globalização.

International Organization for Standardization (ISO) e *United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)* introduziram o conceito de infraestrutura de qualidade como elemento facilitador da capacidade comercial e do desenvolvimento econômico. De

acordo com ISO e UNIDO (2010), os três principais componentes da infraestrutura de qualidade são metrologia, normalização e avaliação da conformidade (vide Figura 9). Os benefícios da normalização na melhoria da eficiência econômica e no acesso aos mercados mundiais não podem ser alcançados sem a capacidade de realizar medições confiáveis e de demonstrar a conformidade de itens em relação a requisitos especificados em normas.

Figura 9 – O papel da infraestrutura de qualidade no desenvolvimento econômico



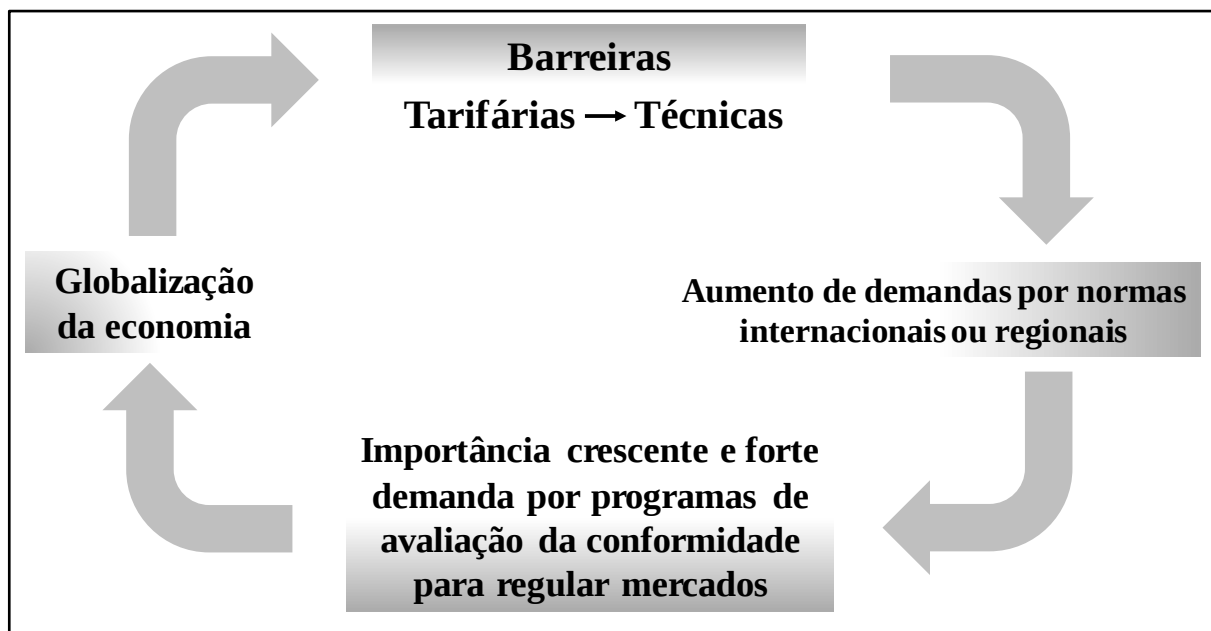
Fonte: ISO e UNIDO (2010).

Conforme destacado em ISO e UNIDO (2010), muitas sociedades reconhecem os benefícios domésticos de sua infraestrutura de qualidade e muitas delas estabeleceram organizações nacionais competentes e relações internacionais para suportar seus sistemas. Entretanto, sistemas nacionais que não são harmonizados regionalmente ou internacionalmente têm o potencial de introduzir novas barreiras técnicas ao comércio. O conceito de infraestrutura de qualidade no Brasil corresponde a TIB (Tecnologia Industrial Básica), que será descrita com maiores detalhes na subseção 2.1.6 do presente capítulo.

Neste contexto de qualidade e competitividade, onde os aspectos técnicos influenciam fortemente a questão estratégica, situa-se a relevância do tema avaliação da conformidade para a economia global e para a sociedade em geral. A Figura 10 resume a importância da avaliação da conformidade no contexto das chamadas barreiras não tarifárias ou barreiras técnicas

decorrentes da globalização dos mercados e do fortalecimento da OMC (Organização Mundial do Comércio). Sob uma perspectiva da realidade brasileira, o grande desafio destacado em INMETRO (2007) refere-se à necessidade de que os programas de avaliação da conformidade sejam utilizados como instrumentos reguladores de mercados, superando barreiras técnicas e propiciando acesso aos diversos mercados, em particular aos mercados mais exigentes.

Figura 10 – Contextualização da avaliação da conformidade na regulação de mercados



Fonte: Adaptado de INMETRO (2007).

Park *et al.* (2010) destacam que os acordos de cooperação mútua preconizam que, na medida do possível, os resultados baseados em procedimentos de avaliação de conformidade de um país sejam aceitos por outros países membros mesmo que tais procedimentos diverjam entre si, desde que sejam satisfeitos os regulamentos aplicáveis ou padrões equivalentes aos seus próprios procedimentos. No entanto, segundo Forstén (2003), a globalização leva à harmonização de requisitos e padrões, bem como ao desenvolvimento de mercados globais para produtos e serviços. Este processo de globalização também tem repercussões na cadeia produtiva e em laboratórios de ensaios industriais e privados, de tal forma que padrões, regulamentos técnicos e os procedimentos de avaliação de conformidade sejam cada vez mais desenvolvidos em uma arena internacional.

Portanto, considerando este cenário global, a avaliação da conformidade destaca-se como um instrumento para o desenvolvimento tecnológico e industrial, para o incremento do comércio interno e externo, contribuindo ainda para o desenvolvimento sustentável. De acordo

com INMETRO (2007), os principais impactos sociais e econômicos decorrentes da avaliação da conformidade são os seguintes:

- Concorrência justa, pois com a avaliação de conformidade indica-se claramente que os produtos, processos ou serviços atendem a requisitos preestabelecidos, fazendo com que as regras do mercado no setor em questão sejam praticadas por todos os fornecedores;
- Melhoria contínua da qualidade, visto que as empresas que utilizam a avaliação de conformidade direcionam-se em uma busca contínua da melhoria da qualidade, do desenvolvimento tecnológico e da inovação, beneficiando-se com a melhoria da produtividade e o aumento da competitividade;
- Informação e proteção ao consumidor, na medida em que a avaliação de conformidade é um indicativo para os consumidores de que o produto, processo ou serviço atende a requisitos mínimos preestabelecidos;
- Incentivo ao comércio exterior, pois a avaliação de conformidade é de suma importância para as trocas comerciais no âmbito dos blocos econômicos e das relações bilaterais, uma vez que a livre circulação de bens e serviços só se viabiliza integralmente se os países envolvidos mantiverem sistemas de avaliação de conformidade compatíveis e mutuamente reconhecidos;
- Proteção ao mercado interno, porque os programas de avaliação de conformidade, da mesma forma que facilitam as exportações, também dificultam a entrada de produtos, processos ou serviços que não atendem a requisitos mínimos de segurança e desempenho que, colocados no mercado, prejudicariam a ideia da concorrência justa e colocariam em risco seus consumidores e usuários;
- Agregação de valor às marcas, dado que a avaliação de conformidade vem sendo cada vez mais usada voluntariamente por fornecedores para agregar valor e distinguir seus produtos em relação ao mercado, atraindo os consumidores e alcançando maiores fatias do mercado.

2.1.2 Conceitos Básicos da Avaliação da Conformidade

Conforme explanação apresentada em ISO e UNIDO (2010), produtos e serviços são como promessas: clientes, consumidores, usuários e o público em geral têm expectativas em relação a características como qualidade, ecologia, segurança, economia, confiabilidade, compatibilidade, interoperabilidade, eficiência e eficácia. O processo para demonstrar que estas

características atendem aos requisitos normativos, regulamentos e outras especificações é chamado de avaliação da conformidade.

No início dos anos 2000, o Comitê de Avaliação da Conformidade da ISO (*CASCO – ISO Committee on Conformity Assessment*) estabeleceu um grupo de trabalho para elaboração das normas que abrangessem a atividade de avaliação da conformidade (série de normas ISO/IEC 17000). *International Organization for Standardization* (ISO) e *International Electrotechnical Commission* (IEC) são entidades internacionais não-governamentais de normalização, sediadas na Suíça e com representação em diversos países. A norma ISO/IEC 17000:2004, que especifica termos gerais, definições e conceitos relativos à avaliação da conformidade, foi adotada integralmente e publicada em português como ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é a entidade responsável pela normalização técnica no Brasil.

A avaliação da conformidade é a “demonstração de que requisitos especificados relativos a um produto, processo, sistema, pessoa ou organismo são atendidos” (ABNT, 2005a, p. 2). Liepina *et al.* (2014) salientam que o termo *assessment* (avaliação) representa um processo de comparação no qual a adequação do objeto aos requisitos é verificada, ao passo que o termo *conformity* (conformidade) significa a afirmação do fato de que o objeto atende aos requisitos. Pereira e Borschiver (2010) entendem que a partir da junção das definições dos vocábulos “avaliação” e “conformidade”, a avaliação da conformidade pode ser interpretada como a análise comparativa da condição de conformidade. Uma outra definição para avaliação da conformidade, com uma abordagem didática e alinhada ao contexto brasileiro, é apresentada pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), entidade executiva do governo federal, gestor do SBAC (Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade) e único acreditador oficial do Brasil na área de avaliação da conformidade:

A Avaliação da Conformidade é um processo sistematizado, com regras pré-estabelecidas, devidamente acompanhado e avaliado, de forma a propiciar adequado grau de confiança de que um produto, processo ou serviço, ou ainda uma pessoa, atende a requisitos pré-estabelecidos em normas ou regulamentos, com o melhor custo benefício possível para a sociedade (INMETRO, 2007, p. 10).

Conforme previamente ilustrado no capítulo introdutório deste trabalho por meio da Figura 4, a norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 também descreve a avaliação da conformidade a partir de uma abordagem funcional, com destaque para as funções seleção, determinação e análise crítica e atestação, que se aplicam a todos os tipos de avaliação de

conformidade, mesmo considerando as respectivas especificidades. O Quadro 5 apresenta uma descrição resumida das três funções.

Quadro 5 – As funções da avaliação da conformidade

FUNÇÃO	DESCRIÇÃO RESUMIDA
SELEÇÃO	<i>Seleção envolve atividades de planejamento e preparação a fim de coletar ou produzir toda informação e insumos necessários para a subsequente função determinação. As atividades de seleção variam enormemente em quantidade e complexidade. Em alguns casos, muito pouca atividade de seleção pode ser requerida.</i>
DETERMINAÇÃO	<i>Atividades de determinação são realizadas para desenvolver completa informação relacionada ao cumprimento de requisitos especificados pelo objeto da avaliação da conformidade ou sua amostra. Alguns tipos de atividade de determinação incluem inspeção, ensaios, auditoria e avaliação por pares. Diversas atividades de determinação não possuem designação específica.</i>
ANÁLISE CRÍTICA E ATESTAÇÃO	<i>Análise crítica constitui o estágio final de verificação antes de se tomar a importante decisão quanto ao objeto da avaliação da conformidade estar ou não em conformidade aos requisitos especificados. Atestação resulta em uma declaração em uma forma que mais prontamente alcance todos os potenciais usuários. “Declaração de conformidade” é uma expressão genérica utilizada para comunicar que o cumprimento dos requisitos especificados foi demonstrado.</i>

Fonte: Baseado em ABNT (2005a).

O papel relevante desempenhado pela avaliação da conformidade nos diversos setores da atividade econômica e da sociedade já foi pontuado no capítulo anterior e será aprofundado neste capítulo. De acordo com INMETRO (2007), a avaliação da conformidade visa a consecução de dois objetivos principais:

- Atender preocupações sociais, estabelecendo com o consumidor uma relação de confiança de que o produto, processo ou serviço está em conformidade com requisitos especificados;
- Não se tornar um ônus para a produção, isto é, não deve envolver recursos maiores do que aqueles que a sociedade estaria disposta a investir.

Assim sendo, a atividade de avaliação da conformidade será duplamente bem-sucedida ao proporcionar confiança ao consumidor com a menor quantidade possível de recursos. Na visão de Assalim e Almeida (2013) são inúmeros os benefícios decorrentes da demonstração de que um produto, serviço ou sistema atende a determinados requisitos por meio da avaliação da conformidade, tais como aumento do nível de confiança de clientes e consumidores,

vantagem competitiva à empresa avaliada e demonstração às agências reguladoras do atendimento aos requisitos de saúde, segurança e ambientais.

O INMETRO sugere uma classificação da avaliação da conformidade com a finalidade de facilitar o entendimento quanto a forma pela qual as atividades são conduzidas, particularmente quanto aos agentes econômicos envolvidos e sua aplicação (vide Quadro 6).

Quadro 6 – Classificação da avaliação da conformidade

CLASSIFICAÇÃO	TIPO	DESCRIÇÃO RESUMIDA
<i>Quanto ao Campo de Utilização</i>	<i>Compulsória</i>	<i>É uma atividade de caráter compulsório e exercida pelo Estado através de uma autoridade regulamentadora, por meio de um instrumento legal, quando se entende que o produto, processo ou serviço pode oferecer riscos à segurança do consumidor ou ao meio ambiente ou ainda, em alguns casos, quando o desempenho do produto, se inadequado, pode trazer prejuízos econômicos à sociedade.</i>
	<i>Voluntária</i>	<i>Quando parte de uma decisão do fornecedor. A avaliação da conformidade voluntária agrega valor ao produto, representando uma importante vantagem competitiva em relação aos concorrentes.</i>
<i>Quanto ao Agente Econômico</i>	<i>Primeira Parte</i>	<i>Quando é feita pelo fabricante ou pelo fornecedor.</i>
	<i>Segunda Parte</i>	<i>Quando é feita pelo comprador/cliente.</i>
	<i>Terceira Parte</i>	<i>Quando é feita por uma organização com independência em relação ao fornecedor e ao cliente, não tendo, portanto, interesse na comercialização do produto.</i>

Fonte: Baseado em INMETRO (2007).

Quanto aos mecanismos, conforme entendimento do INMETRO, evidenciam-se as maiores diferenças em termos conceituais entre o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC) e a norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005. Enquanto no SBAC as ferramentas da qualidade usadas para atestação da conformidade, tais como certificação, declaração da conformidade do fornecedor, inspeção e ensaio, na fase final do processo de avaliação da conformidade, são chamadas de mecanismos de avaliação da conformidade, a referida norma da ABNT não faz tal distinção, denominando, genericamente, todas as ferramentas da qualidade como termos relativos a avaliação da conformidade em geral. No SBAC, a atividade de avaliação da conformidade possui diferentes mecanismos para verificar a conformidade de um produto, processo ou serviço em relação aos critérios estabelecidos por

normas e regulamentos técnicos. Desta forma, os principais mecanismos de avaliação da conformidade praticados no Brasil de acordo com INMETRO são: certificação, declaração da conformidade do fornecedor, inspeção e ensaio conforme explicado no Quadro 7.

Quadro 7 – Mecanismos da avaliação da conformidade

MECANISMO	DESCRIÇÃO RESUMIDA
<i>Certificação</i>	<i>A certificação de produtos, processos, serviços, sistemas de gestão e pessoal é, por definição, realizada por terceira parte, isto é, por uma organização independente, acreditada pelo INMETRO, para executar a avaliação da conformidade de um ou mais destes objetos. Ao acreditar um organismo de certificação, o INMETRO o reconhece competente para avaliar um objeto com base em regras preestabelecidas, na maior parte das vezes, pelo próprio INMETRO.</i>
<i>Declaração da Conformidade do Fornecedor</i>	<i>Este mecanismo de avaliação da conformidade é o processo pelo qual um fornecedor, sob condições preestabelecidas, dá garantia escrita de que um produto, processo ou serviço está em conformidade com requisitos especificados, ou seja, trata-se de um modelo de avaliação da conformidade de primeira parte. O conteúdo mínimo que deve constar na declaração é definido na norma ABNT NBR ISO/IEC 17050 Avaliação da Conformidade – Declaração de conformidade – Parte 1: Requisitos Gerais.</i>
<i>Inspeção</i>	<i>A inspeção é o mecanismo de avaliação da conformidade muito utilizado para avaliar serviços após sua execução. De um modo geral, os procedimentos de medição, de uso de calibres e de ensaios são aplicados nos instrumentos utilizados para execução do serviço a ser inspecionado. A inspeção pode ser aplicada com foco em segurança, desempenho operacional e manutenção da segurança ao longo da vida útil do produto. O objetivo principal é reduzir o risco do comprador ou consumidor quando do uso do produto.</i>
<i>Ensaio</i>	<i>O ensaio consiste na determinação de uma ou mais características de uma amostra do produto, processo ou serviço, de acordo com um procedimento especificado. É a modalidade de avaliação da conformidade mais frequentemente utilizada porque, normalmente, está associada a outros mecanismos de avaliação da conformidade, em particular à inspeção e à certificação. Laboratórios de ensaios podem ser operados por uma variedade de organizações, incluindo agências governamentais, instituições de pesquisa e acadêmicas, organizações comerciais e entidades de normalização.</i>

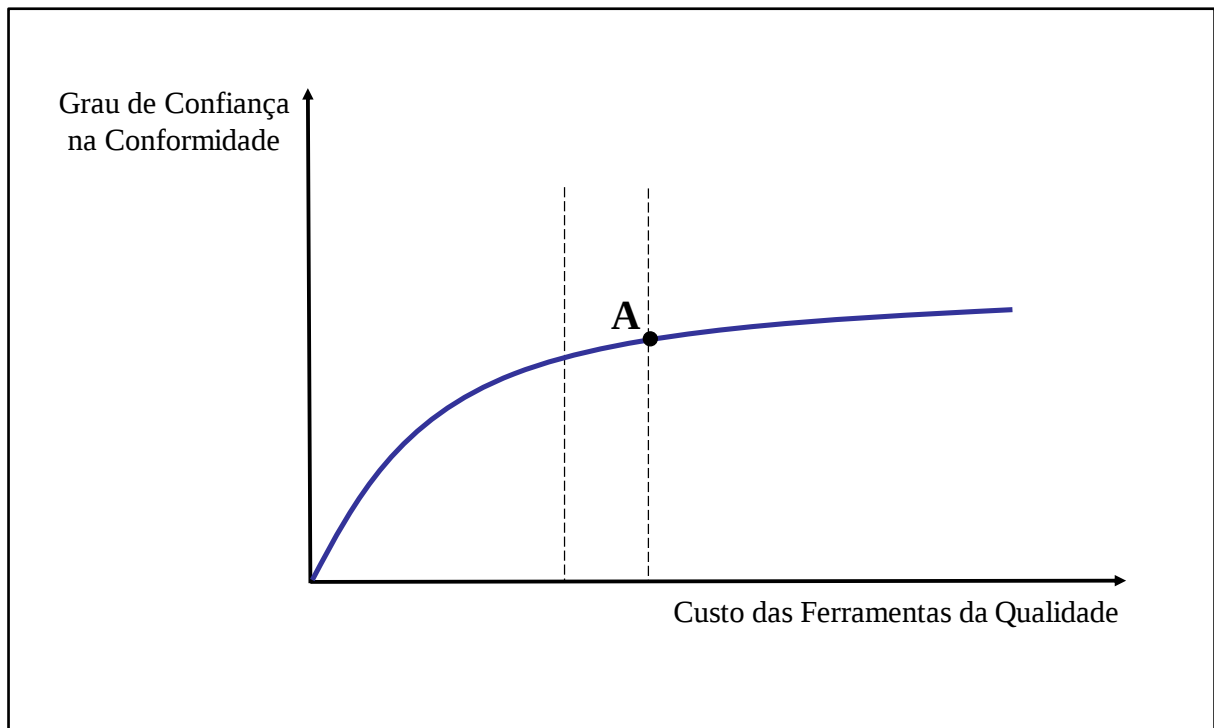
Fonte: Baseado em INMETRO (2007).

Em complementação aos conceitos até aqui apresentados, o INMETRO considera que as ferramentas para avaliação da conformidade são todos aqueles instrumentos por meio dos quais o produto, processo ou serviço em questão sejam submetidos ao processo de avaliação para efeito da atestação final de sua conformidade. Portanto, as principais ferramentas para avaliar a conformidade de acordo com INMETRO (2007) são as seguintes:

- Ensaio de tipo;
- Ensaio de rotina;
- Avaliação do sistema da qualidade de fabricação;
- Julgamento de um serviço executado;
- Inspeção amostral;
- Auditoria.

A Figura 11 ilustra graficamente o entendimento crítico da atividade de avaliação da conformidade, defendido pelo INMETRO, e que reforça o princípio de que tal atividade não deve envolver recursos maiores do que aqueles que a sociedade estaria disposta a investir.

Figura 11 – Investimento em ferramentas da qualidade na avaliação da conformidade



Fonte: INMETRO (2007).

Para que ocorra maior confiança na conformidade de um objeto é necessário um aumento no custo da aplicação de ferramentas da qualidade, tais como inspeções, medições, ensaios, auditorias, entre outras. Como este custo adicional é, inevitavelmente, repassado ao consumidor, torna-se de fundamental importância o estabelecimento de um equilíbrio adequado entre os custos incorridos e o grau de confiança na conformidade. Assim sendo, uma correta interpretação do gráfico da Figura 11 indica que a partir do ponto A observa-se que um aumento nos custos não proporcionaria um aumento significativo no grau de confiança na conformidade,

ou seja, a partir deste ponto, um aumento nos custos com as ferramentas da qualidade não seria vantajoso. Assim sendo, a região imediatamente anterior ao ponto A, aproximadamente definida pelas linhas verticais tracejadas, pode ser interpretada como a região limite para o equilíbrio buscado em um processo de avaliação da conformidade, garantido assim o maior benefício com um custo adequado para a sociedade.

2.1.3 Vocabulário e Normas da Avaliação da Conformidade

Considerando que a norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 apresenta os termos gerais, as definições e os conceitos relativos à avaliação da conformidade, é apropriado que os principais termos definidos na referida norma sejam aqui destacados para consolidação dos respectivos significados e correta interpretação nos capítulos subsequentes.

Termos relativos à avaliação da conformidade em geral:

- Avaliação da conformidade – “Demonstração de que os requisitos especificados relativos a um produto, processo, sistema, pessoa ou organismo são atendidos.”
- Sistema de avaliação da conformidade – “Regras, procedimentos e gestão para a avaliação da conformidade.”
- Atividade de avaliação da conformidade por primeira parte – “Atividade de avaliação da conformidade realizada pela pessoa ou organização que fornece o objeto.”
- Atividade de avaliação da conformidade por segunda parte – “Atividade de avaliação da conformidade realizada por uma pessoa ou uma organização que tem interesse de usuário do objeto.”
- Atividade de avaliação da conformidade por terceira parte – “Atividade de avaliação da conformidade realizada por uma pessoa ou uma organização que é independente da pessoa ou da organização que fornece o objeto, e de interesse do usuário nesse objeto.”
- Organismo de avaliação da conformidade – “Organismo que realiza os serviços de avaliação da conformidade.”
- Organismo de acreditação – “Organismo autorizado a executar a acreditação.”

Termos relativos à seleção e determinação da avaliação de conformidade:

- Requisitos especificados – “Necessidade ou expectativa que é expressa.”
- Produto – “Resultado de um processo.”
- Amostragem – “Fornecimento de uma amostra do objeto da avaliação da conformidade, de acordo com um procedimento.”

- Ensaio – “Determinação de uma ou mais características de um objeto de avaliação da conformidade, de acordo com um procedimento.”
- Inspeção – “Exame de um projeto de produto, produto, processo ou instalação e determinação de sua conformidade com requisitos específicos ou, com base no julgamento profissional, com requisitos gerais.”
- Auditoria – “Processo sistemático, independente e documentado, para obter registros, afirmações de fatos ou outras informações pertinentes e avaliá-los de maneira objetiva para determinar a extensão na qual os requisitos especificados são atendidos.”

Termos relativos à análise e atestação da avaliação da conformidade:

- Atestação – “Emissão de uma afirmação, baseada numa decisão feita após a análise crítica, de que o atendimento aos requisitos especificados foi demonstrado.”
- Escopo da atestação – “Amplitude ou características de objetos de avaliação da conformidade cobertos pela atestação.”
- Declaração – “Atestação por uma primeira parte.”
- Certificação – “Atestação relativa a produtos, processos, sistemas ou pessoas por terceira parte.”
- Acreditação – “Atestação realizada por terceira parte relativa a um organismo de avaliação da conformidade, exprimindo demonstração formal de sua competência para realizar tarefas específicas de avaliação da conformidade.”

Termos relativos à supervisão da avaliação da conformidade:

- Supervisão – “Interação sistemática de atividades de avaliação da conformidade como base para manter a validade da afirmação de conformidade.”
- Suspensão – “Invalidação temporária da afirmação de conformidade para a totalidade ou parte do escopo de atestação especificado.”
- Cancelamento – “Revogação, cancelamento da afirmação de conformidade.”
- Apelação – “Solicitação pelo fornecedor do objeto de avaliação da conformidade ao organismo de avaliação da conformidade ou ao organismo de acreditação, para que este reconsidere uma decisão dada, relativa àquele objeto.”
- Reclamação – “Expressão de insatisfação, outra que não apelação, emitida por uma pessoa ou por uma organização para um organismo de avaliação da conformidade ou para um organismo de acreditação, relativa às atividades desse organismo, onde uma resposta é esperada.”

Além da norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 “Avaliação da conformidade – Vocabulário e princípios gerais”, as seguintes normas e instruções da série ISO/IEC 17000 foram adotadas e publicadas pela ABNT:

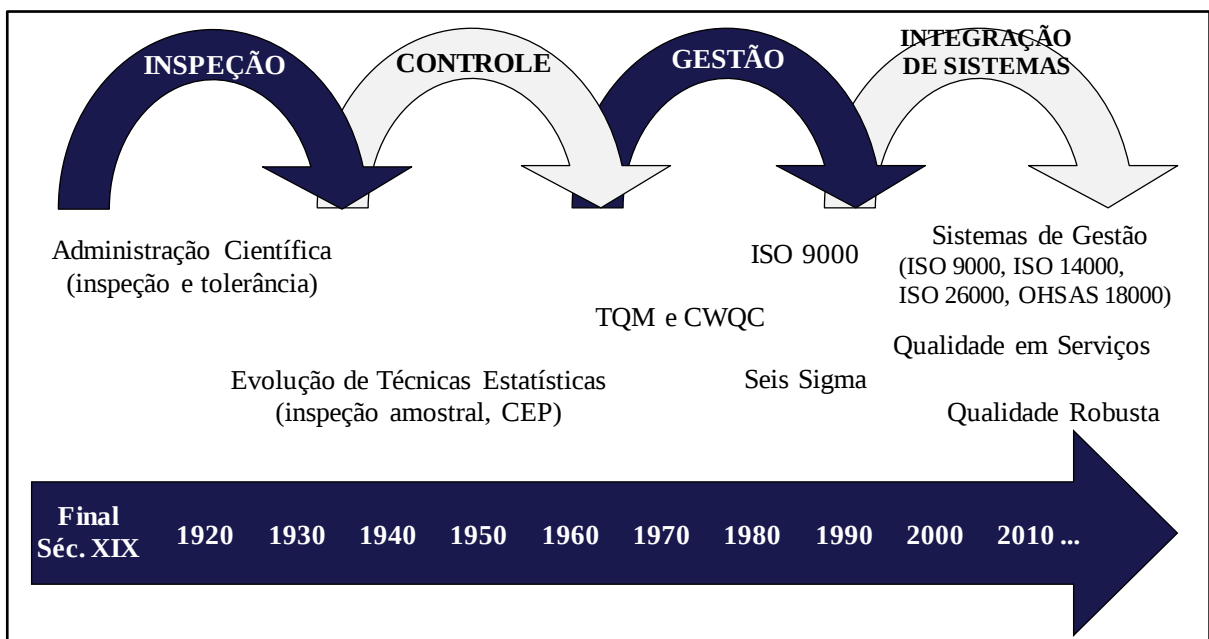
- ABNT ISO/IEC GUIA 60:2005 “Avaliação da conformidade – Código de boas práticas”;
- ABNT ISO/IEC GUIA 68:2004 “Convênios para reconhecimento e aceitação de resultados de avaliação da conformidade”;
- ABNT ISO/IEC TS 17021-2:2014 “Avaliação da conformidade – Requisitos para organismos que fornecem auditoria e certificação de sistemas de gestão Parte 2: Requisitos de competência para auditoria e certificação de sistemas de gestão ambiental”;
- ABNT ISO/IEC TS 17021-5:2014 “Avaliação da conformidade – Requisitos para organismos que fornecem auditoria e certificação de sistemas de gestão Parte 5: Requisitos de competência para a auditoria e certificação de sistemas de gestão de ativos”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17011:2019 “Avaliação da conformidade – Requisitos para os organismos de acreditação que acreditam organismos de avaliação da conformidade”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17020:2012 “Avaliação da conformidade – Requisitos para o funcionamento de diferentes tipos de organismos que executam inspeção”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17021-1:2016 “Avaliação da conformidade – Requisitos para organismos que fornecem auditoria e certificação de sistemas de gestão Parte 1: Requisitos”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17024:2013 “Avaliação da conformidade – Requisitos gerais para organismos que certificam pessoas”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17030:2005 “Avaliação da conformidade – Requisitos gerais para marcas de conformidade de terceira parte”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17040:2007 “Avaliação da conformidade – Requisitos gerais para avaliação entre pares de organismos de avaliação de conformidade e organismos de acreditação”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011 “Avaliação da conformidade – Requisitos gerais para ensaios de proficiência”;

- ABNT NBR ISO/IEC 17050-1:2005 “Avaliação da conformidade – Declaração de conformidade de fornecedor Parte 1: Requisitos gerais”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17050-2:2005 “Avaliação da conformidade – Declaração de conformidade de fornecedor Parte 2: Documentação de suporte”;
- ABNT NBR ISO/IEC 17065:2013 “Avaliação da conformidade – Requisitos para organismos de certificação de produtos, processos e serviços”.

2.1.4 Avaliação da Conformidade, Qualidade e Sistemas de Gestão

A compreensão da importância e do real impacto da qualidade na rotina das empresas vem evoluindo ao longo do tempo, dado que, a partir de uma visão inicial baseada simplesmente em inspeção, passando pelo controle da qualidade e, em seguida, pela garantia da qualidade, alcançou-se recentemente uma abordagem mais estratégica e integrada. A Figura 12 apresenta um resumo esquemático e cronológico caracterizando a evolução da qualidade.

Figura 12 – Ondas da gestão da qualidade



Fonte: Adaptado de Carvalho (2012).

Segundo Sousa e Voss (2002), a gestão da qualidade nasceu há algumas décadas a partir das ideias centrais de William E. Deming (1900-1993), Joseph M. Juran (1904-2008), Philip B. Crosby (1926-2001) e Kaoru Ishikawa (1915-1989) e, desde então, tornou-se uma filosofia de gestão abrangente que se encontra na maioria dos setores da sociedade empresarial atual.

Gestão da qualidade é a gestão que diz respeito à qualidade. Gestão da qualidade pode incluir o estabelecimento de políticas da qualidade, objetivos da qualidade e processos para alcançar estes objetivos da qualidade por meio do planejamento da qualidade, da garantia da qualidade, do controle da qualidade e da melhoria da qualidade (ABNT, 2015a, p. 16).

De acordo com ABNT (2015b), a gestão da qualidade se apoia em sete princípios fundamentais: foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processo, melhoria, tomada de decisão baseada em evidência e gestão de relacionamento.

Sistema de gestão é um conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos de uma organização para estabelecer políticas, objetivos e processos para alcançar esses objetivos. Sistema de gestão da qualidade é parte de um sistema de gestão com relação à qualidade (ABNT, 2015a, p. 19).

A norma ABNT NBR ISO 9001:2015 destaca a importância da aplicação de uma abordagem de processo em um sistema de gestão da qualidade (SGQ) a fim de possibilitar a definição e a gestão sistemática dos processos e suas interações para alcançar os resultados pretendidos de acordo com a política da qualidade e com o direcionamento estratégico da organização. Assim sendo, a norma recomenda que o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), resumido no Quadro 8, seja aplicado a todos os processos e ao sistema de gestão da qualidade como um todo. A integração do ciclo PDCA ao SGQ é ilustrada na Figura 13.

Quadro 8 – Descrição resumida do ciclo PDCA

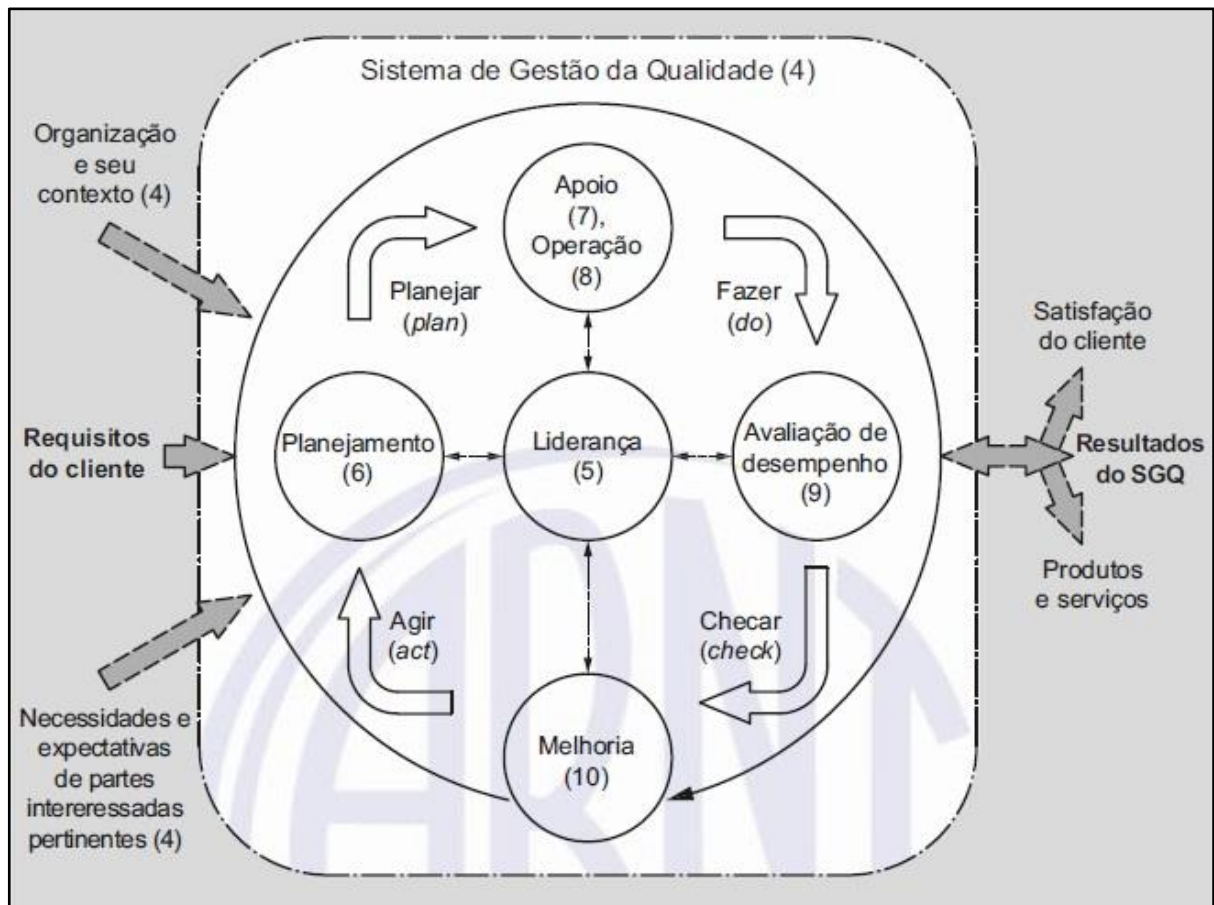
ETAPA	DESCRIÇÃO RESUMIDA DAS ETAPAS DO CICLO PDCA
<i>PLAN (planejar)</i>	<i>Estabelecer os objetivos do sistema e seus processos e os recursos necessários para entregar resultados de acordo com os requisitos dos clientes e com as políticas da organização.</i>
<i>DO (fazer)</i>	<i>Implementar o que foi planejado.</i>
<i>CHECK (checar)</i>	<i>Monitorar e (onde aplicável) medir os processos e os produtos e serviços resultantes em relação a políticas, objetivos e requisitos, e reportar os resultados.</i>
<i>ACT (agir)</i>	<i>Executar ações para melhorar desempenho conforme necessário.</i>

Fonte: Baseado em ABNT (2015b).

Um estudo de Suwandej (2015) explicou que organizações públicas bem-sucedidas exigem líderes que se utilizem de sete fatores de influência, tais como liderança, treinamento, estrutura organizacional, comunicação, incentivos, medições/avaliações e trabalho em equipe. Paladini (2012) destaca o fator de liderança estratégica desempenhado pela qualidade, porém adverte que persiste no Brasil a ideia de que a qualidade é somente o esforço para minimizar

defeitos, como também permanece a visão de que a qualidade está restrita a melhorias localizadas. Um estudo realizado por Gerolamo *et al.* (2014) em uma amostra de 125 empresas brasileiras demonstrou que mais de 30% delas ainda estão na era da inspeção e menos de 20% conseguiram atingir um nível de gestão estratégica da qualidade.

Figura 13 – Representação da estrutura do sistema de gestão da qualidade no ciclo PDCA

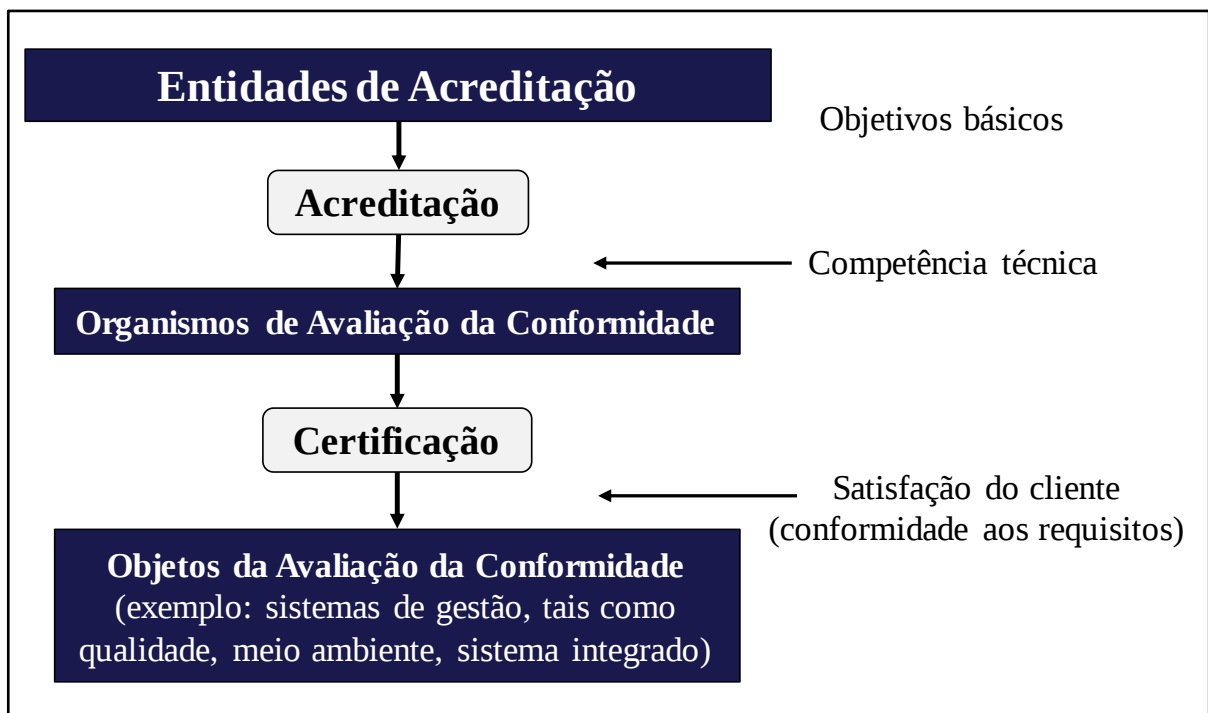


Fonte: ABNT (2015b).

Conforme argumentado por Juran (1999), a ênfase no foco ao cliente desencadeou uma readequação na atuação dos departamentos de qualidade das empresas, de tal forma que, além da conformidade às especificações, as necessidades do cliente também passaram a ser consideradas. Este conceito está fortemente embasado em termos normativos, pois segundo ABNT (2015a), os dois propósitos de um sistema de gestão da qualidade são os seguintes: demonstrar conformidade e aumentar a satisfação dos clientes. Um levantamento sobre TQM (*Total Quality Management*) conduzido por Forza e Filippini (1998) indicou objetivamente a existência destes dois caminhos de influência direta, ou seja, conformidade e satisfação dos clientes.

Liepina *et al.* (2014) realizaram um estudo bibliográfico que demonstrou que os componentes da gestão da qualidade são claramente relacionados à avaliação da conformidade durante a fase de fabricação e quando os produtos são usados. A simples comparação entre as definições de avaliação da conformidade e sistema de gestão da qualidade já proporcionam tal entendimento. Na realidade, a atividade de avaliação da conformidade está diretamente relacionada à implementação e manutenção de sistemas de gestão, quer sejam da qualidade, de meio ambiente ou sistemas integrados, pois é por meio da atividade de avaliação da conformidade (auditoria, por exemplo) que tais sistemas são certificados e mantidos. Esta relação é apresentada de forma esquemática por meio da Figura 14.

Figura 14 – Estrutura da avaliação da conformidade e sua relação com sistemas de gestão



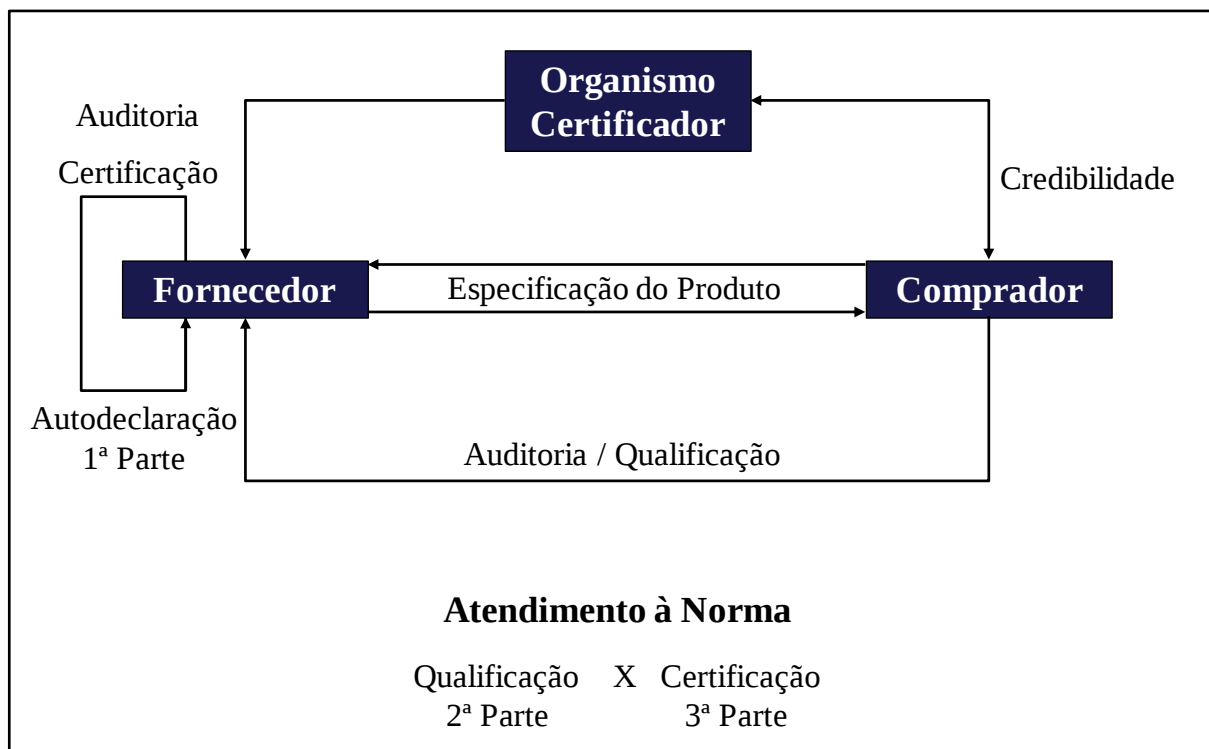
Fonte: Klenovsky (2006).

A questão da integração do sistema de qualidade a outros sistemas de gestão tem sido objeto de vários estudos nos últimos anos conforme mencionado por Ribeiro *et al.* (2008) e Oliveira (2014), e este fato reforça a relação com a atividade de avaliação da conformidade. Cho *et al.* (2017) apontam os aspectos comportamentais da gestão da qualidade que afetam o desempenho das organizações como um todo e, além de tudo, podem gerar vantagem competitiva, fato que justificaria uma maior atenção às práticas orientadas pelos aspectos humanos. A revisão de literatura promovida por Siva *et al.* (2016) e um levantamento efetuado por Wiengarten & Pagell (2012) reforçam o impacto positivo das iniciativas em gestão da

qualidade nas abordagens estratégicas visando o desenvolvimento sustentável, devido à interativa relação entre as práticas da gestão da qualidade e as práticas da gestão ambiental.

Em uma pesquisa sobre sistemas de gestão, Simon *et al.* (2011) relataram que, no entendimento das empresas, a manutenção de um sistema integrado de gestão é extremamente vantajosa para as respectivas auditorias, que segundo Marsall-Llacuna (2018), são vitais para qualquer sistema de gestão. A Figura 15 retrata as relações envolvendo a avaliação da conformidade de primeira parte (autodeclaração de fornecedor), a avaliação da conformidade de segunda parte (qualificação de empresa fornecedora por uma empresa cliente) e a avaliação da conformidade de terceira parte (certificação de empresa por um organismo certificador).

Figura 15 – Avaliação da conformidade para certificação de sistemas de gestão



Fonte: Ferreira (2012).

Zeng *et al.* (2017), ao avaliarem empiricamente os fatores da gestão da qualidade que facilitam o atingimento dos objetivos em inovação, chegaram à conclusão de que uma estrutura descentralizada e uma forte integração entre funções são benéficas para a promoção da inovação pretendida. Entretanto, o levantamento efetuado por Zhang *et al.* (2012) apoia a visão contingencial da relação entre as práticas de gestão da qualidade e o desempenho empresarial, contra a tradicional crença de que todas as práticas da qualidade resultam incontestavelmente em um “remédio universal”. Portanto, a avaliação da conformidade caracteriza-se como fator

decisivo para o sucesso dos diversos sistemas de gestão empresarial, bem como dos sistemas integrados de gestão.

2.1.5 Avaliação da Conformidade e Inspeção

Segundo Gookins (1999), atividades de inspeção e ensaios sempre envolvem a avaliação de uma característica relacionada a um requisito específico. O requisito pode ser na forma de um padrão, um desenho, uma instrução escrita, uma referência visual ou qualquer outro meio que informe a especificação da característica. Para Prazeres (1997), inspeção é a comparação de qualquer característica da qualidade de um material, item, instrumento, processo ou unidade de produto ou serviço com uma especificação. Uma definição formal é apresentada pela norma ABNT NBR ISO 9000:2015:

Inspeção é a determinação da conformidade a requisitos especificados. Se o resultado da inspeção mostrar conformidade, ele pode ser usado para fins de verificação. O resultado de uma inspeção pode mostrar conformidade ou não conformidade ou um grau de conformidade (ABNT, 2015a, p. 32).

Gookings (1999) também classifica a inspeção em dois tipos distintos:

- Inspeção por atributos, na qual a avaliação da característica de interesse pode ser determinada pelo uso dos sentidos intrínsecos ao ser humano (olfato, paladar, visão, audição e tato) ou pode ser efetuada com o uso de um medidor não variável, um instrumento eletrônico ou a *laser* não variável, um dispositivo de teste químico ou físico não variável ou qualquer outro método no qual a decisão seja simplesmente “aceito” ou “rejeitado”;
- Inspeção por variáveis, na qual a avaliação da característica de interesse é determinada pelo uso de algum dispositivo de medição, seja ele mecânico, eletrônico, a *laser*, químico ou qualquer outro método no qual a decisão seja tomada com base em um valor real exibido pelo dispositivo.

Paladini (2012) alerta que não se deve confundir inspeção com controle de qualidade, pois a inspeção se atém a um diagnóstico do produto, ao passo que o controle de qualidade vai além, definindo também o que fazer a partir dos resultados da inspeção. Os componentes da atividade de inspeção podem ser desdobrados em subclassificações detalhadas no Quadro 9. Em muitos casos, a realização da inspeção da característica de interesse em 100% dos itens pode ser impraticável ou economicamente inviável. De acordo com Costa *et al.* (2005), a inspeção por amostragem é uma alternativa para a inspeção 100%, pois reduz o tempo e os

custos de inspeção. A inspeção por amostragem é, aliás, obrigatória quando a avaliação da qualidade da unidade produzida requer um teste destrutivo. Nestes casos, para conduzir as atividades de inspeção amostral, utiliza-se um plano de amostragem com a definição do tamanho da amostra e do critério de aceitação.

Quadro 9 – Subclassificações da inspeção em produtos manufaturados e serviços

TIPO DE INSPEÇÃO	FUNÇÃO PRIMÁRIA
<i>Inspeção e Testes de Recebimento</i>	<i>Garantir que o produto em recebimento não seja utilizado ou processado até que seja inspecionado ou testado e esteja conforme em relação aos requisitos especificados.</i>
<i>Inspeção e Testes em Processo</i>	<i>Garantir que o produto em processamento não avance à próxima etapa até que seja inspecionado ou testado e esteja conforme em relação aos requisitos especificados.</i>
<i>Inspeção e Testes Finais</i>	<i>Garantir que o produto ou componente acabado não seja despachado até que todas as atividades tenham sido satisfatoriamente concluídas.</i>
<i>Inspeção de layout e Testes Funcionais</i>	<i>Garantir que todos os padrões de material e desempenho da engenharia do cliente sejam avaliados antes da produção.</i>
<i>Inspeção e Testes de Expedição</i>	<i>Garantir que todos os produtos entregues estejam conforme em relação aos requisitos especificados.</i>
<i>Inspeção e Testes de Qualificação</i>	<i>Julgar a capacidade em serviço do produto e sua possível utilização em condições extremas.</i>
<i>Inspeção e Auditoria em Doca</i>	<i>Garantir que o produto, bem como sua embalagem, identificação e demais informações sejam liberados ao cliente de acordo com todos os requisitos.</i>
<i>Inspeção de Serviço</i>	<i>Garantir que todos os requisitos especificados sejam atendidos; avaliar e mensurar as não conformidades encontradas em serviço.</i>
<i>Inspeção e Testes Não Produtivos</i>	<i>Avaliar atividades específicas solicitadas pela garantia da qualidade, tais como repetibilidade e reprodutibilidade, capacidade de processo, avaliação 100%, etc.</i>
<i>Solicitação de Inspeção de Amostra inicial ISIR (Initial Sample Inspection Request)</i>	<i>Garantir ao cliente que a primeira execução de produção esteja em conformidade com todas as características estabelecidas e submeter as medidas e atributos de tais características reais ao cliente para verificação e aprovação.</i>
<i>Processo de Aprovação de Partes de Produção PPAP (Production Part Approval Process)</i>	<i>Solicitação de cliente que indica o nível de inspeção para conduzir a primeira execução de produção verificando todas características e indicando dimensões reais, estudos de repetibilidade e reprodutibilidade, estudos de capacidade, verificação de material ou outros processamentos externos, tais como tratamento térmico e tratamento superficial; e submeter ao cliente para aprovação.</i>

Fonte: Gookins (1999).

Em relação à amostragem, Costa Neto (2002) aponta dois tipos: amostragem probabilística, quando todos os elementos da população têm probabilidade conhecida, e diferente de zero, de pertencerem à amostra; e amostragem não-probabilística, que é a situação contrária à anterior. Um resumo com tipos e técnicas de amostragem é mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 – Descrição resumida dos tipos e técnicas de amostragem

TIPO	TÉCNICA	DESCRIÇÃO RESUMIDA
<i>Amostragem Probabilística</i>	<i>Amostragem casual simples</i>	<i>É equivalente a um sorteio lotérico; também chamada de amostragem simples ao acaso, aleatória, casual ou randômica.</i>
	<i>Amostragem sistemática</i>	<i>Quando os elementos da população se apresentam ordenados e a retirada dos elementos da amostra é feita periodicamente.</i>
	<i>Amostragem por conglomerados</i>	<i>Quando a população apresenta uma subdivisão em pequenos grupos (conglomerados), pode-se sortear uma quantidade suficiente de conglomerados para compor a amostra.</i>
	<i>Amostragem estratificada</i>	<i>Quando a população se divide em subpopulações ou estratos, os elementos da amostra podem ser retirados de cada estrato.</i>
	<i>Amostragem múltipla</i>	<i>Neste caso a amostra é retirada em diversas etapas sucessivas.</i>
<i>Amostragem Não-Probabilística</i>	<i>Inacessibilidade a toda a população</i>	<i>Por conveniência, os elementos da amostra são retirados da parte da população que é acessível ao amostrador.</i>
	<i>Amostragem a esmo ou sem norma</i>	<i>A amostragem é realizada de forma similar à aleatória sem, no entanto, realizar propriamente o sorteio.</i>
	<i>População formada por material contínuo</i>	<i>Quando a população de interesse é líquida ou gasosa; ela é homogeneizada e a seleção da amostra é realizada a esmo.</i>
	<i>Amostragem intencional (no bom sentido)</i>	<i>Enquadram-se os diversos casos nos quais o amostrador deliberadamente escolhe certos elementos para pertencer à amostra, por julgar que sejam representativos da população.</i>
	<i>Amostragem por voluntários.</i>	<i>Ocorre, por exemplo, no caso da aplicação experimental de uma nova droga em pacientes, quando a ética obriga que haja concordância dos escolhidos.</i>

Fonte: Baseado em Costa Neto (2002).

Considerando as definições apresentadas e o fato de que a inspeção é uma das técnicas utilizadas durante a avaliação da conformidade, prontamente percebe-se a relação entre ambas. Por este motivo, um dos aspectos principais da presente pesquisa, com detalhamento nos próximos capítulos da tese, reside justamente na investigação da utilização de dupla inspeção planejada a partir de amostragem não-probabilística (amostragem intencional) durante a realização de atividades de avaliação da conformidade.

2.1.6 Avaliação da Conformidade no Contexto Industrial

No âmbito da indústria brasileira, da mesma forma que o INMETRO, a CNI (Confederação Nacional da Indústria) entende que a prática correta da avaliação da conformidade é um instrumento eficaz para o desenvolvimento empresarial e para a proteção do consumidor. Tal entendimento está formalizado conforme descrição que se segue:

Avaliar e atestar que um produto, serviço, sistema ou pessoal atende aos requisitos de uma norma é um instrumento poderoso para o desenvolvimento empresarial e para a proteção do consumidor. As organizações que adotam a avaliação da conformidade beneficiam-se pelo aumento de sua competitividade (CNI, 2002, p. 8).

De acordo com CNI (2002), quando uma empresa efetua ensaios ou inspeções em sua linha de produção, na realidade está efetuando avaliações da conformidade. Do mesmo modo, quando uma empresa efetua controles de recebimento de insumos, também está efetuando avaliações da conformidade. No primeiro caso trata-se de uma ação de primeira parte; enquanto no segundo exemplo trata-se de uma ação de segunda parte. O conceito geral previamente ilustrado na Figura 15 é também aplicável para explicar o papel desempenhado pela avaliação da conformidade nas relações comerciais entre empresas conforme CNI (2002):

- O fornecedor, de acordo com os seus próprios interesses e necessidades, pode efetuar a avaliação da conformidade de seus produtos e declarar ao comprador ou ao mercado de forma geral esta condição (primeira parte);
- O comprador, por sua vez, com base em suas necessidades e expectativas, pode avaliar os produtos adquiridos para assegurar-se da conformidade destes em relação aos pedidos realizados (segunda parte);
- Existe também a possibilidade de que a avaliação da conformidade seja realizada por meio de um organismo independente, o qual provê confiança ao comprador e ao mercado, quanto à conformidade dos produtos a serem adquiridos (terceira parte).

Existem diversos processos na indústria manufatureira que se beneficiam da aplicação formal de rotinas de avaliação da conformidade. As seguintes atividades podem ser elencadas como exemplos gerais:

- Desenvolvimento e certificação de novos produtos;
- Seleção, desenvolvimento e qualificação de fornecedores;
- Qualificação ou melhoria de processos industriais;
- Liberação final e aceitação de produtos;
- Treinamento e qualificação de funcionários;

- Certificação de funcionários para atuação como representantes de organismos certificadores ou reguladores;
- Comprovação de competência de laboratórios de ensaio e de calibração;
- Implantação, certificação e manutenção de sistemas de gestão, tais como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ou sistemas integrados de gestão.

Muitas outras atividades ou processos industriais podem estar relacionados à avaliação da conformidade, pois em toda ocasião que se faz necessária a emissão de alguma declaração de conformidade relacionada a um determinado produto, serviço, processo ou sistema no ambiente industrial, recomenda-se que rotinas minimamente estruturadas de avaliação da conformidade sejam previamente conduzidas.

Do ponto de vista histórico, é importante ressaltar que a avaliação da conformidade é um dos pilares do Programa de Tecnologia Industrial Básica (TIB), que juntamente com normalização e metrologia formam a infraestrutura de qualidade no Brasil. O Programa TIB foi criado em 1984 pelo Governo Federal sob a responsabilidade da então Secretaria de Tecnologia Industrial do antigo Ministério da Indústria e do Comércio, com objetivo de preparar a infraestrutura tecnológica necessária para a consolidação de uma indústria moderna e competitiva no Brasil.

A Tecnologia Industrial Básica (TIB) reúne um conjunto de disciplinas técnicas de uso indiferenciado pelos diversos setores da economia (indústria, agricultura, comércio e serviços) e compreende, na sua essência, as áreas de metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade (BRASIL, 2005, p. 29).

Aquelas ações governamentais voltadas à padronização e melhoria da infraestrutura tecnológica brasileira na década de 1980 foram importantes para o adequado posicionamento do país no cenário de globalização da economia que se configurou nas décadas seguintes, caracterizado pela queda das barreiras tarifárias e pela definição de barreiras técnicas. Segundo a definição de CNI (2002), as barreiras técnicas ao comércio internacional são medidas utilizadas por um país ou grupo de países, em suas transações comerciais com terceiros, que contêm requisitos técnicos normativos ou regulatórios que diferem daqueles contidos em normas técnicas desenvolvidas no âmbito das organizações internacionais de normalização, tais como ISO e IEC.

De acordo com Brasil (2005), o Programa TIB vem sendo, desde o seu início, a principal fonte regular de apoio à metrologia, normalização, avaliação da conformidade, tecnologias de gestão, serviços de suporte à propriedade intelectual e à informação tecnológica. Os

investimentos públicos relativos à TIB possibilitaram a realização de diversas ações planejadas conforme resumido no Quadro 11.

Quadro 11 – Evolução das principais ações do Programa TIB

PERÍODO	RESUMO DAS PRINCIPAIS AÇÕES DO PROGRAMA TIB
<i>1984-1990</i>	– <i>Superação de lacunas na infraestrutura laboratorial;</i> – <i>Estruturação dos núcleos de informação tecnológica;</i> – <i>Apoio à nucleação de ações em gestão da qualidade.</i>
<i>1991-1997</i>	– <i>Apoio à modernização dos sistemas de metrologia, normalização e avaliação da conformidade;</i> – <i>Implantação de programas de tecnologias de gestão;</i> – <i>Modernização dos núcleos de informação tecnológica;</i> – <i>Apoio à propriedade intelectual.</i>
<i>A partir de 1998</i>	– <i>Apoio à inserção internacional dos sistemas de metrologia, normalização e avaliação da conformidade;</i> – <i>Apoio à capacitação em tecnologias de gestão e propriedade intelectual como instrumentos facilitadores do acesso a mercados;</i> – <i>Apoio aos serviços de informação tecnológica.</i>

Fonte: Baseado em Brasil (2005).

Gallina e Fleury (2013) argumentam que o domínio da TIB (metrologia, normalização e avaliação da conformidade) não é somente um requisito para a competitividade de uma empresa por possibilitar que esta produza em conformidade com as normas internacionais, mas é também uma condição necessária para a efetiva acumulação de capacidade tecnológica em direção à melhoria e inovação. Portanto, o desenvolvimento das empresas em termos de capacitação tecnológica está diretamente associado e é suportado pelo avanço em metrologia, normalização e avaliação da conformidade.

2.2 NOÇÕES SOBRE MECÂNICA QUÂNTICA

2.2.1 Resumo Histórico

Uma perspectiva histórica ancorada em Briggs *et al.* (2013), Esposito *et al.* (2004), Freire Junior *et al.* (2011), Piza (2003), Shankar (1994), entre outros, mostra que o desenvolvimento científico associado à Física Clássica encontrou seus primeiros obstáculos e contradições por volta do início do século XX e tais dificuldades surgiram em relação a dois aspectos principais: em grandes velocidades e em pequenas escalas. A questão relacionada a grandes velocidades

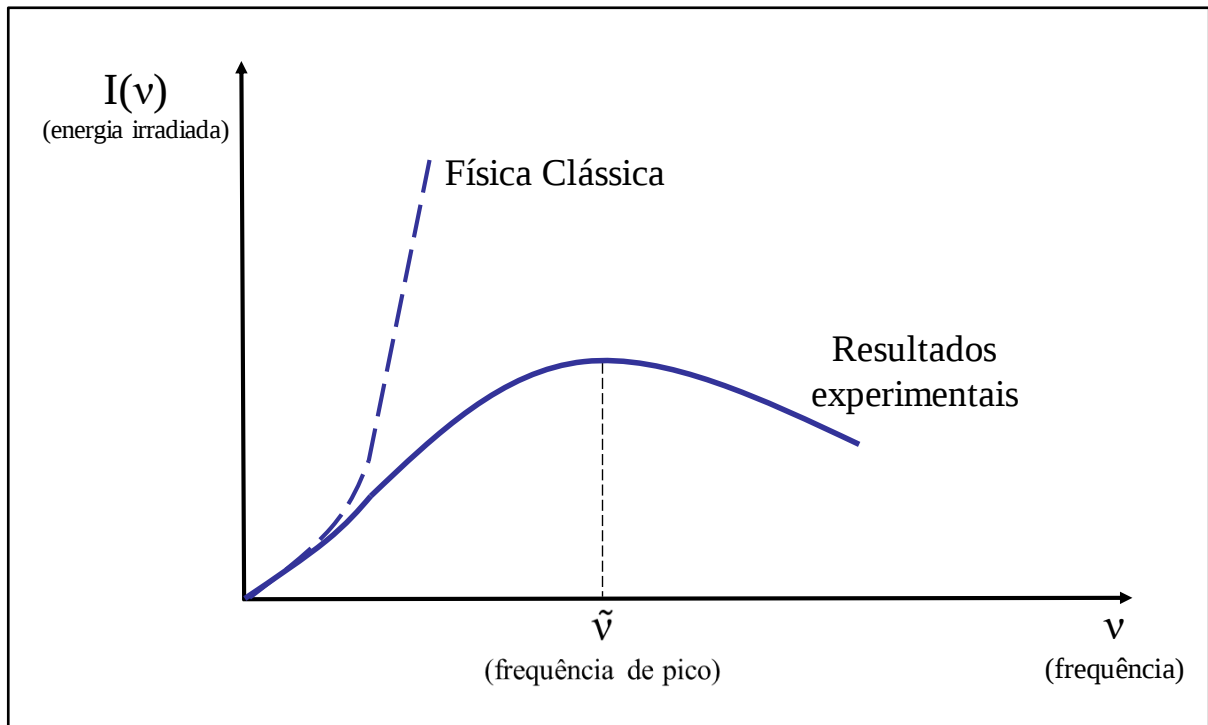
foi solucionada com sucesso pela Mecânica Relativística de Albert Einstein, ao passo que a Mecânica Quântica resolveu o problema referente às escalas diminutas.

Mecânica Quântica é o ramo da Física que explica os fenômenos físicos em nível atômico e subatômico e é a base para diversos ramos da própria Física, da Química e da Biologia. Conforme detalhado por Fitts (2002), o campo de estudo da Mecânica Quântica, também chamada de Física Quântica, abrange entidades como átomos, elétrons, prótons, nêutrons, núcleos atômicos e fótons. Para Freire Junior *et al.* (2011) e outros autores, a Mecânica Quântica tornou-se a mais bem-sucedida teoria física disponível, com diversas aplicações tecnológicas, tais como transistores, raio *laser* e progressos no campo da tecnologia da informação e nanotecnologia. De acordo com Stenholm e Suominen (2005), a indústria eletrônica faz uso dos fenômenos quânticos de uma maneira essencial e sem o entendimento adquirido com tal teoria, a habilidade humana de fabricar circuitos integrados e dispositivos de comunicação em larga escala não teria emergido.

Diferentes fontes bibliográficas sobre o tema, dentre as quais Bes (2007), Nolan (2014), Nussenzveig (2014), Pessoa Junior (2006), Rennie (2015), Thornton e Rex (2013) e Tipler e Llewellyn (2014), indicam que os principais conceitos teóricos foram desenvolvidos durante a primeira metade do século XX por meio de esforços de diversos cientistas, tais como Max Planck (1858-1947), Albert Einstein (1879-1955), Max Born (1882-1970), Neils Bohr (1885-1962), Erwin Schrödinger (1887-1961), Louis de Broglie (1892-1987), Wolfgang Pauli (1900-1958), Werner Heisenberg (1901-1976), Paul Dirac (1902-1984), John von Neumann (1903-1957), Richard Feynman (1918-1988), entre outros.

Segundo Fedak e Prentis (2009), o termo “Mecânica Quântica” foi cunhado em 1924 pelo físico e matemático alemão Max Born em alusão ao trabalho revolucionário publicado em 1900 pelo físico alemão Max Planck, que postulou que um corpo que absorve toda a radiação nele incidente, ou seja, um corpo negro, o faz de modo discreto por meio de pequenos pacotes proporcionais à frequência. Planck chamou cada pacote de *quantum*, que significa quantidade em latim; decorre daí a referência utilizada por Born. Até então se suponha que tal situação ocorria de modo contínuo, levando à conclusão absurda de que a energia total irradiada seria infinita para frequências elevadas, o que era conhecido como “catástrofe ultravioleta”. A intrigante hipótese de troca energética quantizada ajustava-se incrivelmente bem aos resultados experimentais que contradiziam as previsões da Física Clássica conforme gráfico esboçado na Figura 16.

Figura 16 – Distribuição espectral da radiação térmica



Fonte: Nussenzveig (2014).

De acordo com a proposição de Planck não há radiação com qualquer quantidade de energia, mas somente múltiplos de um valor mínimo fundamental ou *quantum* de energia. A Equação (1), reproduzida de Nolan (2014) e Tipler e Llewellyn (2014), explica o conceito no qual a energia quantizada é diretamente proporcional à frequência da radiação. Tal expressão matemática introduziu uma constante física que posteriormente ficou conhecida como constante de Planck.

$$E = n \cdot h \cdot \nu \quad (1)$$

Onde:

E = energia;

n = número inteiro ($n = 0, 1, 2, \dots$);

h = constante de Planck, sendo $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

ν = frequência da radiação.

Segundo Nussenzveig (2014), em 1905 Albert Einstein estendeu a teoria de Planck para explicar o efeito fotoelétrico que fora descoberto acidentalmente pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887 durante experimentos que comprovaram a existência de ondas

eletromagnéticas. O efeito fotoelétrico refere-se à emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta como a luz. Atualmente as fotocélulas, que possuem inúmeras aplicações práticas, tais como fotômetros e controle de portas de elevadores, empregam o efeito fotoelétrico para converter um sinal luminoso em corrente elétrica. Até então a grande dúvida a respeito do efeito fotoelétrico residia no fato de que quando a intensidade da luz era aumentada, os elétrons não eram expelidos do metal com maior energia cinética, como sugeria a Mecânica Clássica; diferentemente, ocorria uma maior quantidade de elétrons sendo ejetados.

De acordo com Tipler e Llewellyn (2014), Einstein propôs que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro fosse uma característica universal da luz, ou seja, em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por *quanta* isolados de energia $h \cdot \nu$. Nas palavras de Einstein: “A ideia mais simples é que um *quantum* de luz transfere toda a sua energia a um único elétron; vamos supor que é isso que acontece.” (NUSSENZVEIG, 2014, p. 252). Conforme exposto por Nolan (2014), quando Einstein propôs a sua teoria não existiam dados quantitativos suficientes para prová-la e foi somente entre 1914 e 1916 que o físico americano Robert A. Millikan (1868-1953) realizou experimentos que confirmaram a teoria de Einstein sobre o efeito fotoelétrico.

Em 1913 o físico dinamarquês Niels Bohr apresentou uma explicação aprimorada para o modelo atômico planetário proposto por Ernest Rutherford (1871-1937), incorporando definitivamente a hipótese quântica de Planck, uma vez que, conforme Nussenzveig (2014), a Física Clássica sequer conseguia explicar a existência de átomos e a estabilidade da matéria. Segundo Valadares *et al.* (2005), Bohr sugeriu que os elétrons que orbitam o núcleo atômico ocupam somente determinados níveis energéticos associados a números inteiros, de tal forma que quando um elétron muda de um nível mais energético para um nível menos energético ele emite um *quantum* de luz com diferença de energia correspondente às duas órbitas.

O trabalho inovador de Planck sobre a radiação de corpo negro demonstrou que tanto o modelo ondulatório quanto o modelo corpuscular isoladamente eram insuficientes para explicar a radiação eletromagnética, fenômeno que ainda era motivo de muita discussão devido às teorias associadas ao comportamento da luz. A subsequente aplicação de Einstein consolidou o conceito da quantização da luz, entretanto, conforme citado por Nussenzveig (2014), o termo fóton para um *quantum* de luz somente surgiu em 1926 em um trabalho do físico-químico americano Gilbert N. Lewis (1875-1946). De acordo com Thornton e Rex (2013), outra evidência das características corpusculares da luz foi obtida pelo físico americano Arthur H. Compton (1892-1962) em 1923 ao realizar experimentos que ocasionaram o espalhamento de

raios X de comprimento de onda específico por um alvo de grafita. Para explicar os resultados obtidos Compton adotou a hipótese de Einstein, tratando os raios X em termos de fótons, ou seja, como partículas de energia que também transportam momento (produto de massa e velocidade). Tal fenômeno passou a ser conhecido como efeito Compton.

Devido a essas e outras pesquisas teóricas e experimentais desenvolvidas até a segunda década do século XX já existia razoável aceitação no meio científico sobre a natureza dual da luz e do raio X por apresentarem comportamento simultâneo como onda e como partícula. Segundo Nolan (2014) e Thornton e Rex (2013), em 1924 o físico francês Louis de Broglie em sua tese de doutorado, assumindo uma simetria estética na natureza, propôs que átomos, elétrons e outros entes tidos como partículas também teriam características de onda. Com base no momento de um fóton, de Broglie assumiu que o comprimento de onda associado a uma partícula de momento p seria definida de acordo com a Equação (2), como indicado em Nussenzveig (2014).

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m.v} \quad (2)$$

Onde:

λ = comprimento de onda da partícula;

h = constante de Planck, sendo $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$;

p = momento da partícula;

m = massa da partícula;

v = velocidade da partícula.

Desta forma, ele concluiu que a mesma dualidade onda-partícula associada a ondas eletromagnéticas também seria aplicável a partículas. Com isso, conforme mencionado por Nolan (2014), ao invés de resolver o problema da dualidade onda-partícula para ondas eletromagnéticas, de Broglie estendeu a questão também para a matéria. Essa hipótese perturbadora foi confirmada experimentalmente de forma independente pelo físico americano Clinton Davisson (1881-1958) e pelo físico britânico George Thomson (1892-1975), caracterizando-se como um ponto de inflexão que resultou em uma versão mais sofisticada e abrangente da Mecânica Quântica.

Na sequência, ao longo da década de 1920, várias contribuições importantes foram dadas por diversos cientistas, dentre os quais os alemães Max Born (Mecânica Matricial) e Werner Heisenberg (Mecânica Matricial e Princípio da Incerteza), o austríaco Erwin Schrödinger

(Mecânica Ondulatória) e o britânico Paul Dirac (formalismo matemático). Nas décadas seguintes vários experimentos foram levados a efeito e consolidaram os principais fundamentos estabelecidos nos primórdios da Mecânica Quântica, que em sua existência de aproximadamente um século tem sido muito bem-sucedida na descrição de diversos fenômenos.

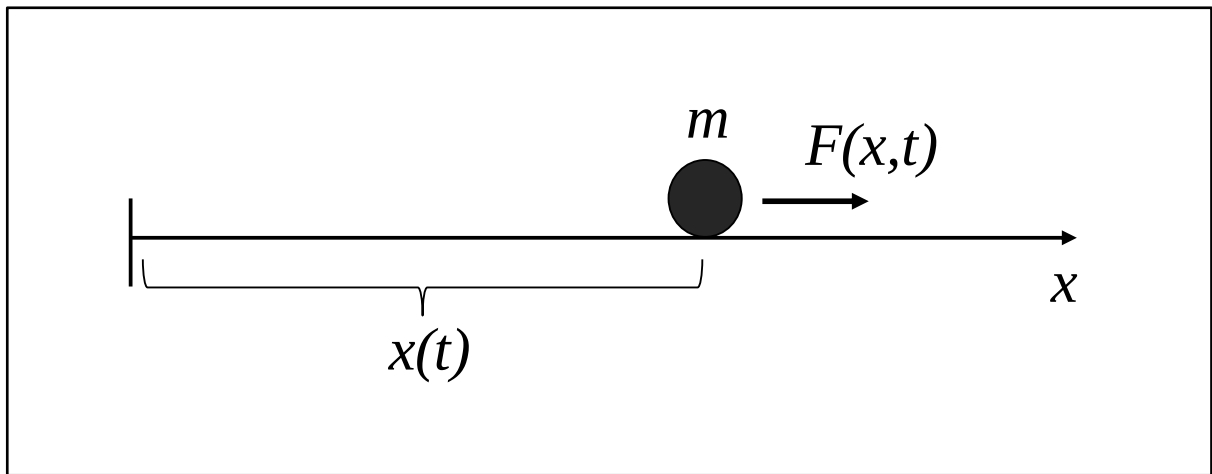
2.2.2 Conceitos e Interpretações da Mecânica Quântica

Uma argumentação apresentada por Chester (2003), mostra que da mesma forma que os fenômenos físicos relacionados a grandes velocidades são adequadamente explicados por meio da Mecânica Relativística, com a Mecânica Clássica sendo uma aproximação aceitável para velocidades muito inferiores à velocidade da luz, o mundo físico em nível microscópico não pode ser adequadamente descrito pela Física Clássica, pois as suas previsões contradizem os experimentos. Portanto, a Mecânica Clássica deve ser uma aproximação válida somente para situações macroscópicas perante uma teoria mais ampla, no caso, a Mecânica Quântica.

Contudo, conforme destacado por Shankar (1994), a união da Mecânica Relativística com a Mecânica Quântica, necessária para a descrição dos fenômenos envolvendo simultaneamente grandes velocidades e pequenas escalas, é bem mais complexa. Embora tenha ocorrido muito progresso neste assunto com a Teoria Quântica de Campos, ainda existem muitas questões em aberto. Portanto, as discussões dos fenômenos físicos que inspiraram esta pesquisa de doutorado concentram-se exclusivamente nos aspectos relativos às pequenas escalas, ou seja, Mecânica Quântica não relativística.

Segundo Griffiths (2016), de acordo com os preceitos da Mecânica Clássica, estando uma partícula de massa m compelida se mover sobre um eixo x e sujeita a uma força dada $F(x,t)$ (vide Figura 17), é possível determinar a posição da partícula em qualquer instante dado $x(t)$ por meio da segunda lei de Newton ($F = m.a$). Com base nesta informação pode-se determinar a velocidade ($v = dx/dt$), o momento ($p = m.v$), a energia cinética ($T = m.v^2/2$) ou qualquer outra variável dinâmica de interesse. A Mecânica Quântica aborda essa mesma questão de forma muito diferente, buscando a função de onda da partícula, $\Psi(x,t)$, que se obtém ao resolver a Equação 3, conhecida como equação de Schrödinger e que desempenha um papel logicamente análogo à segunda lei de Newton: dadas condições iniciais apropriadas (tipicamente $\Psi(x,0)$), a equação de Schrödinger determina a função de onda $\Psi(x,t)$ para qualquer instante de tempo futuro, assim como a lei de Newton determina $x(t)$ para qualquer instante na Mecânica Clássica.

Figura 17 – Partícula compelida a se mover em uma dimensão sob a ação de uma força



Fonte: Adaptado de Griffiths (2016).

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V\Psi \quad (3)$$

Onde:

Ψ = função de onda da partícula

i = unidade imaginária de números complexos, sendo $i = \sqrt{-1}$;

$\hbar$ = constante reduzida de Planck, sendo $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054572 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

m = massa da partícula;

t = tempo;

V = energia potencial da partícula

De acordo com Griffiths (2016), a teoria quântica se baseia em duas construções: funções de onda e operadores. O estado de um sistema é representado por sua função de onda e as características observáveis são representadas por operadores. Matematicamente, as funções de onda satisfazem as condições que definem os vetores abstratos e os operadores agem sobre eles como transformações lineares. Portanto, a linguagem natural da Mecânica Quântica é a Álgebra Linear e as funções de onda existem em um espaço vetorial denominado espaço de Hilbert. Os postulados na Mecânica Quântica não relativística são resumidos no Quadro 12 acompanhados pelos seus homólogos da Mecânica Clássica a fim de fornecer uma perspectiva de comparação conforme destacado por Shankar (1994).

Quadro 12 – Postulados da Mecânica Clássica e da Mecânica Quântica

<i>MECÂNICA CLÁSSICA</i>	<i>MECÂNICA QUÂNTICA</i>
I. O estado de uma partícula em qualquer instante dado é especificado por duas variáveis $x(t)$ e $p(t)$, i.e., como um ponto em um espaço bidimensional.	I. O estado da partícula é representado por um vetor $ \psi(t)\rangle$ em um espaço de Hilbert.
II. Cada variável dinâmica ω é uma função de x e p : $\omega = \omega(x, p)$.	II. As variáveis independentes x e p da Mecânica Clássica são representadas por operadores hermitianos X e P . Os operadores correspondentes às variáveis dependentes $\omega(x, p)$ são os operadores hermitianos dados: $\Omega(X, P) = \omega(x \rightarrow X, p \rightarrow P)$ Isto significa que Ω é a mesma função de X e P tal como ω é de x e p .
III. Se a partícula está em um estado definido por x e p , a medição da variável ω fornecerá um valor $\omega(x, p)$. O estado permanecerá não afetado.	III. Se a partícula está em um estado $ \psi\rangle$, a medição da variável correspondente a Ω fornecerá um dos autovalores ω com probabilidade $P(\omega) \propto \langle \omega \psi \rangle ^2$. O estado do sistema mudará de $ \psi\rangle$ para $ \omega\rangle$ como um resultado da medição.
IV. As variáveis de estado mudam com o tempo de acordo com as equações de Hamilton: $\dot{x} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial p}$ $\dot{p} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial x}$	IV. O vetor de estado $ \psi(t)\rangle$ obedece à equação de Schrödinger: $i\hbar \frac{d}{dt} \psi(t)\rangle = H \psi(t)\rangle$ Onde $H(X, P) = \mathcal{H}(x \rightarrow X, p \rightarrow P)$ é o operador hamiltoniano quântico e $\mathcal{H}$ é o hamiltoniano para o problema clássico correspondente.

Fonte: Shankar (1994).

Ainda segundo Griffiths (2016), a forma pela qual a função de onda $\Psi(x, t)$ representa o estado de uma partícula é dada pela interpretação estatística de Max Born, onde $|\Psi(x, t)|^2$ representa a probabilidade de encontrar a partícula no ponto x , no instante t (a probabilidade é a área sob o gráfico de $|\Psi|^2$). A interpretação estatística apresenta um tipo de indeterminação dentro da Mecânica Quântica, pois mesmo que se saiba tudo o que a teoria tem a dizer sobre a partícula (isto é, sua função de onda), não se pode prever com exatidão o resultado de um experimento simples para medir sua posição. Tudo o que a Mecânica Quântica tem a oferecer é informação estatística sobre os resultados possíveis. Essa indeterminação tem perturbado profundamente tanto físicos quanto filósofos, e é natural questionar se ela é um fato da natureza ou um defeito da teoria. As diversas discussões acerca da correta interpretação sobre a Mecânica

Quântica podem ser agrupadas em três principais linhas: realista, ortodoxa e agnóstica. Um exercício mental que explica as três escolas de pensamento é resumido no Quadro 13.

Quadro 13 – Distinção entre as interpretações sobre a Mecânica Quântica

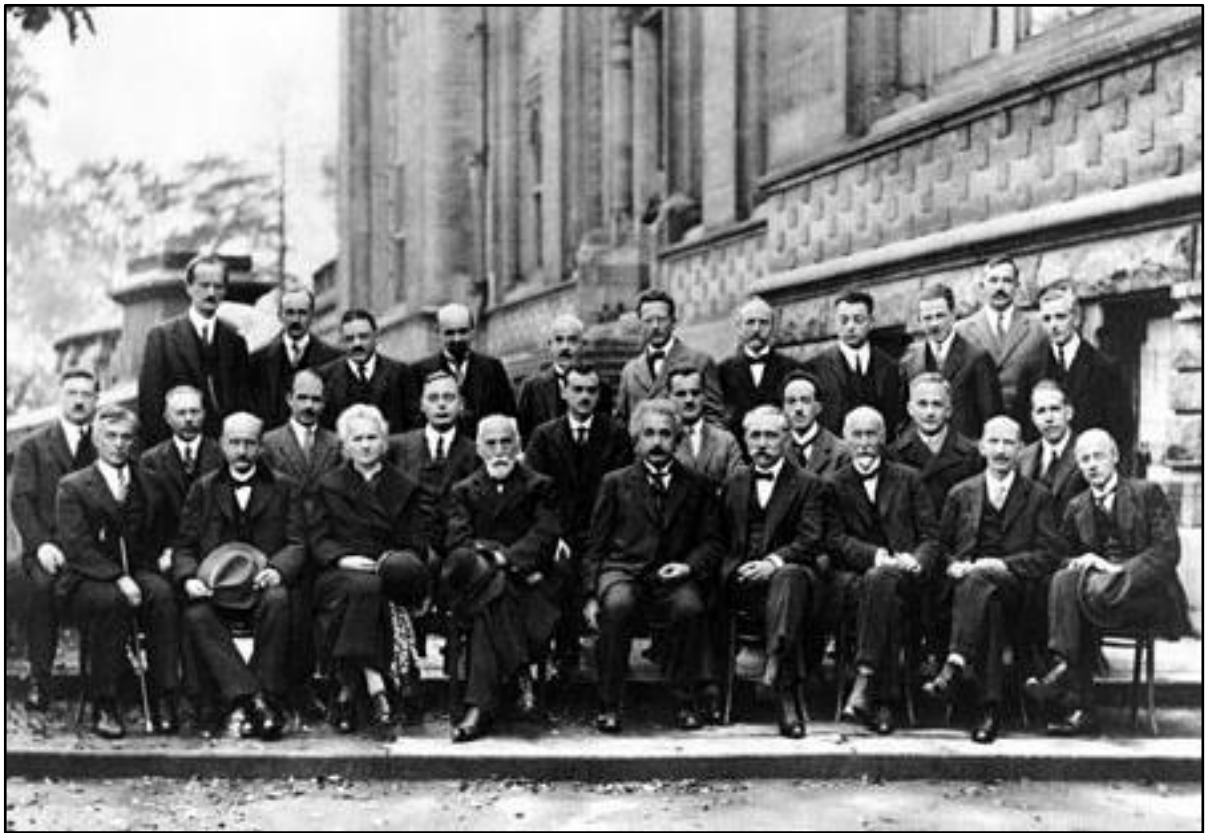
INTERPRETAÇÃO	RESPOSTA À PERGUNTA “ONDE ESTAVA A PARTÍCULA ANTES DA REALIZAÇÃO DE UMA MEDIÇÃO QUE INDICOU O PONTO A?”
REALISTA	<i>Resposta realista: a partícula estava em A. Parece ser uma resposta sensata e foi defendida por Albert Einstein. Entretanto, caso isso seja verdade, então a Mecânica Quântica é uma teoria incompleta, pois a partícula realmente estava em A e, ainda assim, a Mecânica Quântica não foi capaz de demonstrar isso. Para o realista a indeterminação não é um fato da natureza, mas um reflexo da ignorância humana. Neste caso, evidentemente, a função de onda não engloba tudo, indicando que algumas informações adicionais (conhecidas como variáveis ocultas) seriam necessárias para se ter uma descrição completa da partícula.</i>
ORTODOXA	<i>Resposta ortodoxa: a partícula não estava em lugar algum. Foi o ato de medir que forçou a partícula a “tomar uma decisão”. As observações não somente perturbam o que está para ser medido, mas produzem o que está para ser medido, forçando a partícula a assumir uma posição definida (efeito do observador). Essa visão é chamada de interpretação de Copenhague e está associada a Niels Bohr e seus seguidores. Entre os físicos essa sempre foi a visão mais amplamente aceita; entretanto, se ela é correta há algo de muito peculiar no ato de medir, algo que um século de discussões pouco esclareceu.</i>
AGNÓSTICA	<i>Resposta agnóstica: não há resposta (é desnecessário responder). Afinal, que sentido pode haver em fazer afirmações sobre o estado de uma partícula antes de uma medição, quando a única maneira de saber é exatamente realizando uma medida, e nesse caso, o resultado nada tem a ver com o momento anterior à medida.</i>

Fonte: Adaptado de Griffiths (2016).

As discussões sobre as interpretações relativas à Mecânica Quântica tiveram como palco principal a Quinta Conferência de Solvay ocorrida em outubro de 1927. As Conferências de Solvay são eventos científicos regulares que ocorrem geralmente a cada três anos desde 1911 no Instituto Internacional Solvay de Física e Química em Bruxelas, Bélgica. Na fotografia oficial da Quinta Conferência de Solvay (Figura 18) pode-se identificar alguns dos mais renomados cientistas do século XX, dentre os quais o físico holandês Hendrik Lorentz (1853-1928), que presidiu o evento (o oitavo sentado da esquerda para direita), a física e química franco-polonesa Marie Curie (1867-1934), a sexta sentada da esquerda para direita, e os pioneiros da Mecânica Quântica Max Planck (o quarto sentado da esquerda para direita), Albert

Einstein (o nono sentado da direita para esquerda), Max Born (o quarto sentado da direita para esquerda), Niels Bohr (o segundo sentado da direita para esquerda), Arthur H. Compton (o oitavo sentado da direita para esquerda), Erwin Schrödinger (o sexto em pé da direita para esquerda), Louis de Broglie (o sexto sentado da direita para esquerda), Wolfgang Pauli (o quarto em pé da direita para esquerda), Werner Heisenberg (o terceiro em pé da direita para esquerda) e Paul Dirac (o nono sentado da esquerda para direita).

Figura 18 – Fotografia oficial da 5ª Conferência de Solvay, Bruxelas, outubro de 1927



Fonte: International Solvay Institutes (2019).

De acordo com Pessoa Junior (2006), as discussões mais célebres desta conferência foram travadas entre Albert Einstein, partidário de uma interpretação realista da teoria quântica, e Neils Bohr, que liderou com sucesso o entendimento segundo o qual um objeto quântico não pode ser inteiramente compreendido dentro de um quadro único, mas necessita de descrições mutuamente excludentes, como onda ou partícula, que juntas se complementam para descrever o objeto. As vitórias de Bohr sobre Einstein nas contendas daquela conferência em 1927 e na conferência seguinte em 1930, certamente estimularam muitos físicos a aderirem ao conceito de complementaridade, que passou a ser a interpretação ortodoxa da Mecânica Quântica, também conhecida como interpretação de Copenhague. Em 1935, Einstein e os físicos Boris

Podolsky (1896-1966) e Nathan Rosen (1909-1995) publicaram um artigo com um experimento mental para demonstrar falhas da teoria quântica, ou seja, mostrar que deveriam existir elementos da realidade não descritos pela teoria. Tal experimento mental ficou conhecido como Paradoxo EPR (Einstein-Podolsky-Rosen):

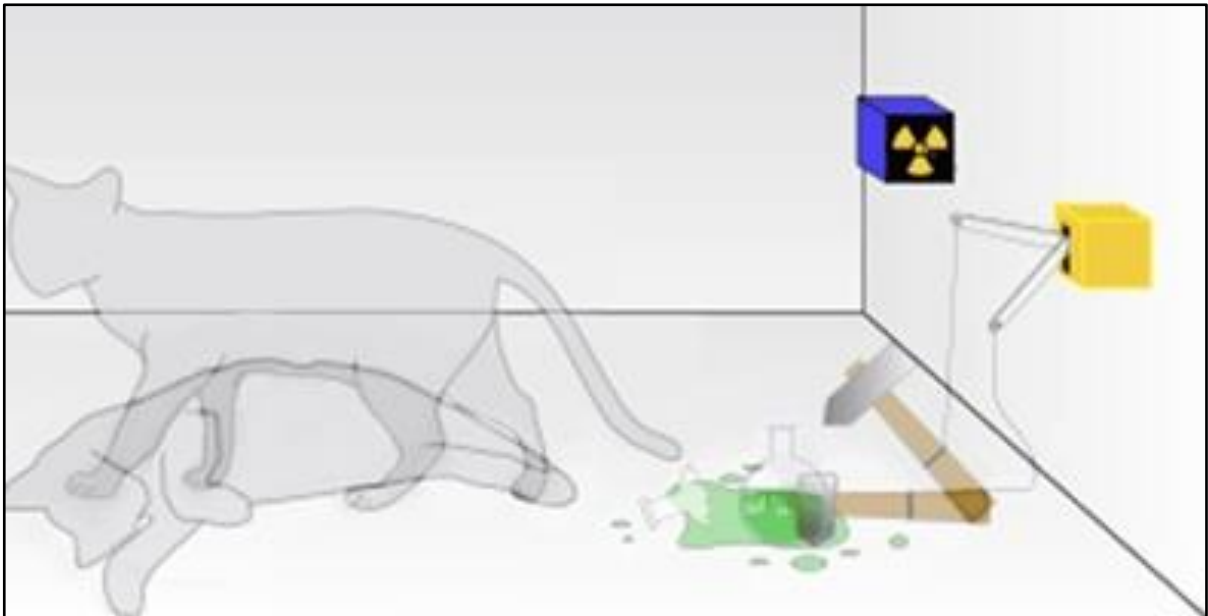
Em termos lógicos, o argumento de EPR pode ser colocado da seguinte forma: parte-se do formalismo da Mecânica Quântica (MQ), que inclui o “postulado da projeção” que descreve a redução de estado. Além disso, utiliza-se uma forma branda de realismo (R), que diz que se podemos prever algo com certeza, então existe um “elemento de realidade” correspondente. Utiliza-se também a condição de localidade (L), que diz que uma medição realizada aqui não pode afetar instantaneamente um elemento de realidade lá longe. Com isso, argumentando em termos de medições que não são realizadas (“contrafactuais”), concluem que a Teoria Quântica é incompleta, ou seja, existem elementos de realidade que não têm um correspondente na teoria (PESSOA JUNIOR, 2006, p. 100).

Segundo Pessoa Junior (2006), após muita ponderação, Niels Bohr escreveu um artigo de resposta, no qual criticou a concepção de realidade (R) usada por EPR e o uso de medições contrafactuais. Bohr foi também forçado a aprimorar a interpretação da complementaridade, salientando que o fenômeno quântico envolve tanto o objeto quanto o aparelho, que formam uma totalidade que não pode ser adequadamente analisada em partes.

Griffiths (2016) argumenta que o processo de medição desempenha um papel nocivo na Mecânica Quântica: é aqui que surgem a não localidade, o colapso da função de onda e todas as dificuldades conceituais. No entanto, é o estranho papel do processo de medição que confere à Mecânica Quântica sua extraordinária riqueza e sutileza. Mas o que exatamente é a medição? O que a torna tão diferente dos outros processos físicos? E como se pode saber se uma medição foi feita? Erwin Schrödinger abordou esta questão de modo incisivo, porém jocoso, em 1935 ao propor o famoso paradoxo do gato (vide Figura 19), também conhecido como Gato de Schrödinger:

Um gato é colocado em uma câmara de aço, juntamente com a seguinte engenhoca diabólica... Em um contador Geiger há uma pequena quantidade de substância radioativa, tão pequena que, talvez, dentro de uma hora um dos átomos decaia, mas é igualmente provável que nenhum deles decaia. Se um deles decair, então o contador vai disparar e, por meio de um relé, acionará um pequeno martelo que quebrará um recipiente de cianeto. Se o sistema funcionar por uma hora, pode-se dizer que o gato estaria vivo se nenhum átomo decaísse. O primeiro decaimento o teria envenenado. A função de onda do sistema inteiro poderia expressar isso contendo partes iguais do gato vivo e do gato morto. O gato não está nem vivo e nem morto, mas em uma combinação linear das duas coisas até que uma medição ocorra ou que se espie pela janela para verificar a situação. Nesse momento, a observação força o gato a “tomar uma posição”: morto ou vivo. Então se alguém descobre que o gato está morto, foi esse alguém que o matou ao olhar pela janela (GRIFFITHS, 2016, p. 382).

Figura 19 – Ilustração do paradoxo do gato (Gato de Schrödinger)



Fonte: Doyle (2016).

Segundo Griffiths (2016), Schrödinger considerou um absurdo a ideia de um objeto macroscópico estar em uma combinação linear de dois estados palpavelmente diferentes. Um elétron pode estar em uma combinação linear de *spin* para cima e *spin* para baixo, mas um gato simplesmente não pode estar em uma combinação linear de vivo e morto. Como conciliar isso com a interpretação ortodoxa da Mecânica Quântica? A resposta mais amplamente aceita é que o disparar do contador Geiger constitui a medição, no sentido da interpretação estatística, e não a intervenção de um observador humano.

Em relação ao exposto no Quadro 13, Griffiths (2016) afirma que durante muito tempo as três interpretações (realista, ortodoxa e agnóstica) possuíam partidários, mas em 1964 o físico irlandês John S. Bell surpreendeu a comunidade científica ao demonstrar que há uma diferença observável quer a partícula tivesse uma posição precisa (embora desconhecida) anteriormente à medida, quer não. A descoberta de Bell efetivamente eliminou o agnosticismo como opção viável e transformou em uma questão experimental a decisão sobre a visão realista ou ortodoxa ser a escolha correta. Experimentos posteriores favoreceram decisivamente a interpretação ortodoxa: uma partícula simplesmente não tem uma posição precisa antes da medida, comportando-se quase como as ondas em um lago; é o processo de medida que insiste em um determinado número e, assim, de certa maneira, cria o resultado específico, limitado apenas pela ponderação estatística imposta pela função de onda.

Infelizmente, segundo Blanchard *et al.* (2016), o sucesso de recentes esforços para o esclarecimento da mensagem e da interpretação da Mecânica Quântica, assim como para a formulação da teoria de uma maneira logicamente coerente é bastante limitado, dado que muita confusão e desorientação ainda circundam suas fundações.

2.2.3 O Princípio da Incerteza

O Princípio da Incerteza foi publicado em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg e tem o seguinte enunciado: “quanto mais precisamente determinada for a posição de uma partícula, menos preciso será seu momento e vice-versa” (GRIFFITHS, 2016, p. 18). Com a Equação 4 denota-se o Princípio da Incerteza de Heisenberg em termos quantitativos.

$$\sigma_x \cdot \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (4)$$

Onde:

σ_x = desvio-padrão da posição x da partícula;

σ_p = desvio-padrão do momento p (massa $\times$ velocidade) da partícula;

$\hbar$ = constante reduzida de Planck, sendo $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054572 \times 10^{-34} \text{ J.s.}$

O Princípio da Incerteza estabelece que é impossível em um único experimento medir as variáveis conjugadas posição e momento com precisão absoluta, ou seja, posição e momento são grandezas canonicamente conjugadas. Na visão de Tipler e Llewellyn (2014), o ponto essencial decorre do fato de que o produto das incertezas na posição e no momento não pode ser menor que $\hbar$ nem mesmo em princípio, ou seja, ainda que as condições de observação sejam ideais. Conforme ponderado por Thornton e Rex (2013), devido ao pequeno valor de $\hbar$, o Princípio da Incerteza torna-se relevante somente em nível atômico. O Princípio de Incerteza também está relacionado ao limite correspondente às incertezas associadas à medição da energia (ΔE) de uma partícula e ao tempo requerido para realizar a medição (Δt) em processos quânticos ($\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar/2$).

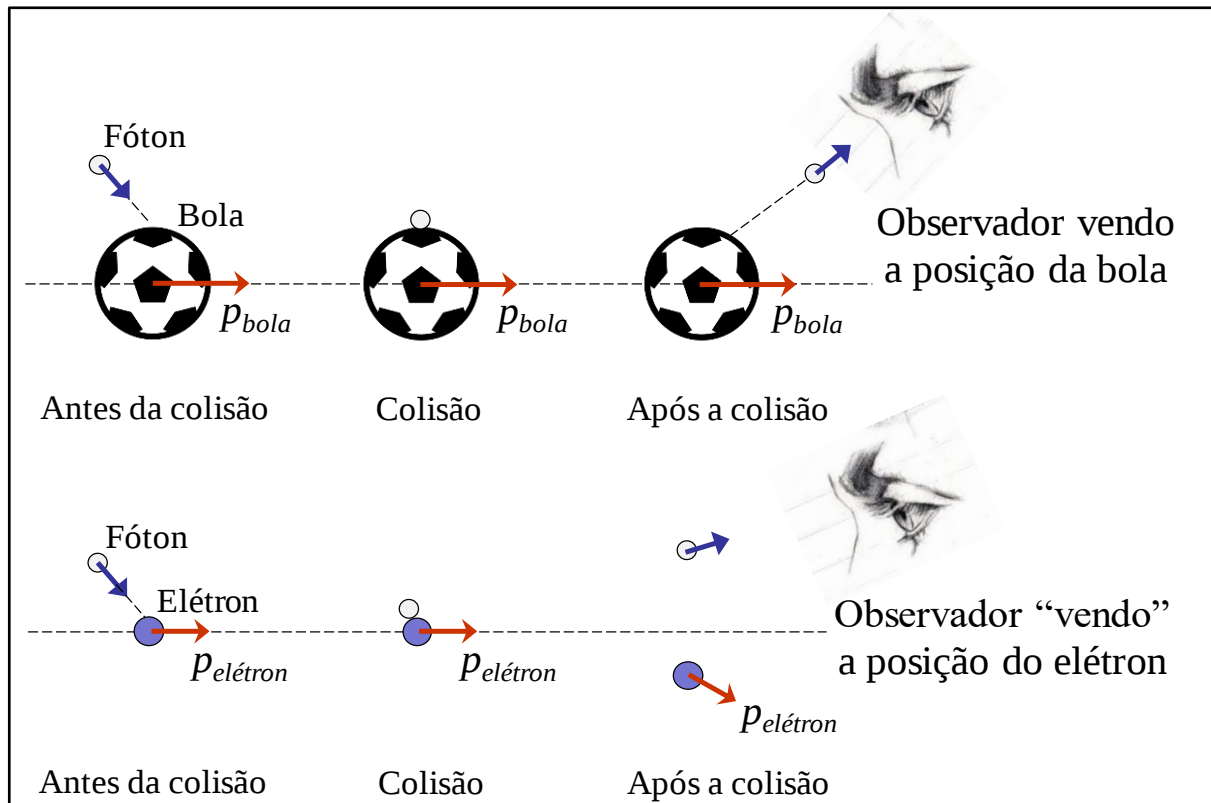
No livro “Uma Breve História do Tempo: Do *Bing Bang* aos Buracos Negros”, voltado ao público leigo, o físico teórico britânico Stephen Hawking (1942-2018) apresentou uma explicação didaticamente acessível acerca do Princípio de Incerteza de Heisenberg e suas implicações físicas:

O procedimento para se obter a posição e a velocidade de uma partícula é projetando luz sobre ela. Algumas ondas de luz se dispersarão pela partícula indicando sua posição. Entretanto, não se pode determinar a posição da partícula de maneira mais precisa do que pela distância entre as cristas da onda de luz, de forma que será preciso usar luz de ondas curtas para se ter um grau razoável de confiabilidade no resultado do experimento. Porém, segundo a hipótese quântica de Planck, não se pode usar uma quantidade arbitrariamente pequena de luz; deve-se usar pelo menos um quantum. Este quantum perturbará a partícula e mudará sua velocidade de forma não previsível. Quanto mais precisamente se medir a posição, mais curto o comprimento de onda de luz necessário para atingir a mais alta energia de um único quantum. Assim, a velocidade da partícula será perturbada com maior intensidade. Em outras palavras, quanto mais precisamente se tentar medir a posição da partícula, menos precisamente se poderá medir sua velocidade e vice-versa. Além disso, tal limite de incerteza não depende de como se tenta medir a posição ou velocidade da partícula, nem do tipo de partícula. O Princípio da Incerteza é uma propriedade fundamental e inescapável do mundo (HAWKING, 2000, p. 86).

Uma outra maneira de ilustrar o efeito do Princípio da Incerteza, porém com uma abordagem visual, foi sugerida por Nolan (2014) conforme indicado na Figura 20: seja um observador inicialmente olhando a posição de uma bola de futebol em movimento. O processo é basicamente a colisão entre o fóton de luz e a bola. O fóton atinge a bola e é refletido até os olhos do observador, que obviamente pode dizer que viu a bola em uma determinada posição. Como a massa do fóton é extremamente pequena quando comparada à massa da bola, o fóton é ricocheteado sem perturbar o momento da bola. Assim, no processo de localização da bola de futebol, nada ocorreu que perturbasse seu momento. Por outro lado, caso um observador estivesse “vendo” a posição de um elétron, o processo novamente implicaria na colisão entre o fóton de luz e o objeto em questão. Entretanto, neste caso, como o momento do fóton é da mesma ordem de magnitude do momento do elétron, assim que o fóton atingisse o elétron, o momento do elétron seria modificado de acordo com o efeito Compton. O observador “veria” a posição do elétron, mas tal processo perturbaria o momento da partícula porque a massa do fóton é da mesma ordem de grandeza da massa do elétron. Portanto, conclui-se que a incerteza sempre ocorre quando objetos microscópicos estão envolvidos no processo de medição.

Nolan (2014) afirma também que esta incerteza não está associada aos instrumentos de medição, pois é decorrência da dualidade onda-partícula da matéria. De acordo com Fitts (2002), o Princípio da Incerteza de Heisenberg é uma consequência da suposição de que uma partícula quântica é um pacote de onda e tal situação contrasta com o comportamento mecânico clássico, no qual tanto posição como momento podem, em princípio, serem especificados simultaneamente tão precisamente quanto se queira. Para Thornton e Rex (2013), tal discordância conceitual caracteriza uma divergência aguda entre a Física Clássica e a Mecânica Quântica.

Figura 20 – Representação pictórica do Princípio da Incerteza



Fonte: Adaptado de Nolan (2014).

Segundo Zozor *et al.* (2008), o Princípio da Incerteza é um conceito fundamental que tem gerado muita repercussão, não somente na Física Quântica, mas também em outras áreas. Entretanto, conforme exposto por Jijnasu (2016), a clareza que os físicos tiveram ao longo das décadas em relação à incerteza quântica permaneceu praticamente imperceptível para os demais leitores em geral, tais como estudantes, filósofos e até cientistas não especialistas.

2.2.4 Aplicações e Discussões Além da Física

As contribuições que a Mecânica Quântica trouxe para as diversas atividades humanas são inúmeras. Alguns exemplos de aplicações práticas derivadas dos estudos e pesquisas desta disciplina são nanotecnologia, inteligência artificial, energia nuclear, *lasers*, lâmpadas de LED (*light-emitting diode*), transmissão de dados por fibra ótica, microscópios eletrônicos, ressonância magnética, tomografia computadorizada, novos materiais, microprocessadores de última geração, computação quântica, entre outros. De acordo com Nunes (2007), o desenvolvimento tecnológico gerado por aplicações da Mecânica Quântica permitiu o desenvolvimento de instrumentos de medição mais eficazes que por sua vez contribuíram em diversas descobertas científicas, gerando grande impulso em todas as áreas da ciência.

Conforme exposto por Silva (2008), existe uma correlação direta entre o avanço do conhecimento científico e o desenvolvimento econômico. Novas ideias ou novas descobertas científicas invariavelmente levam a avanços tecnológicos, os quais propiciam a criação de novos produtos ou processos, que por sua vez garantem uma vantagem mercadológica ao seu possuidor, resultando, portanto, na geração de riqueza. Na visão de Nunes (2007) e Silva (2008), o conhecimento adquirido com a Mecânica Quântica é fundamental para a produção de novas tecnologias de ponta, sendo difícil imaginar o mundo de hoje sem alguns desses avanços.

A computação quântica é um exemplo de nova área de conhecimento humano derivado das características peculiares e surpreendentes da Mecânica Quântica. Segundo Rédei (2001), a lógica quântica foi inicialmente proposta por John von Neumann e Garrett Birkhoff na década de 1930 e, de acordo com Vedral e Plenio (1998), computadores quânticos requerem lógica quântica, algo fundamentalmente diferente da lógica booleana clássica. Mehring (2007) lembra que, na década de 1980, Richard Feynman foi um dos primeiros a apontar que um bit quântico seria muito mais poderoso que o bit clássico e já especulava sobre um computador quântico.

Os sistemas quânticos têm um caráter de totalidade que falta nos sistemas clássicos. Interferindo-se em uma parte do sistema, podem ocorrer consequências importantes para as outras partes. Assim, não se pode fazer em sistemas quânticos tudo o que se pode fazer em sistemas clássicos. Isso tem sido utilizado na comunicação com sistemas quânticos; se um fóton é absorvido por um receptor, ele não está disponível para nenhum invasor. Por outro lado, sistemas quânticos podem fazer mais coisas simultaneamente que os objetos clássicos. O conhecido experimento de dupla fenda mostra interferência entre os caminhos das partículas, indo de maneiras diferentes para sua absorção final; nenhuma partícula clássica pode fazer isso. Tal fato oferece a possibilidade de que os sistemas quânticos executem todos os cálculos desejados em paralelo, o que acelera certos processos algorítmicos além daquilo que os computadores clássicos podem fazer. Assim nasceu a ideia de um computador quântico (STENHOLM e SUOMINEN, 2005, p. 2).

Porém, não são apenas os aspectos físicos, o formalismo matemático e os avanços tecnológicos que envolvem o estudo e as aplicações da teoria quântica; o próprio Werner Heisenberg, um dos pioneiros da Mecânica Quântica, considerava a contribuição filosófica clássica como de fundamental importância para o desenvolvimento científico:

Na raiz de todas as conquistas da Ciência, encontra-se, segundo Heisenberg, a inestimável contribuição dos filósofos gregos. Para ele, o cientista que tenta desvincular-se da Filosofia grega comete um duplo erro. Primeiro, torna-se incapaz de detectar e analisar o discurso filosófico que seu trabalho carrega, veladamente, limitando sua compreensão dos problemas da própria Física. Segundo, ignora-se o quinhão da herança helênica para a humanidade, quando se nega a possibilidade de aproximação entre Ciência e Filosofia. Dessa maneira, a Filosofia forneceria instrumentos conceituais mais sofisticados para o cientista compreender melhor o seu trabalho e o seu objeto de estudo, aperfeiçoando o próprio desenvolvimento científico (LEITE e SIMON, 2010, p. 216).

Não por acaso, ao longo do século XX, os diversos debates acerca das interpretações da Mecânica Quântica também envolveram discussões filosóficas, uma vez que as particularidades da teoria desafiavam o sendo comum e estimulavam a busca estruturada pelo saber. Entretanto, conforme argumentado por Paty (2011), paradoxalmente, uma vez que o conhecimento dos fenômenos atômicos e infra-atômicos pareciam inicialmente necessitar de processos construtivos, distanciados dos dados empíricos imediatos (porque o mundo dos átomos e das radiações, dos *quanta*, escapa à percepção dos sentidos), certa prudência, de inspiração empirista, teria acompanhado a acumulação de seus sucessos no plano teórico.

O argumento de EPR viria a desempenhar um papel importante nas discussões posteriores dos fundamentos da Mecânica Quântica. Nos anos de 1960, John Bell mostrou que é impossível recuperar a estatística prevista pela Mecânica Quântica ao assumir-se, com Einstein, que dois estados localmente separáveis determinam os resultados de medições em cada componente do estado emaranhado. Bell mostrou que, se fosse esse o caso, as correlações dos resultados de medições em experimentos do tipo EPR deveriam satisfazer as chamadas desigualdades de Bell. As previsões da Mecânica Quântica, por outro lado, contradizem as desigualdades de Bell. Já como um experimento mental, esta prova é de grande importância porque mostra a impossibilidade da ideia de Einstein de que a Mecânica Quântica poderia ser entendida como uma descrição incompleta de uma realidade que é objetiva e localmente definida. Permaneceu a questão empírica sobre qual das duas visões seria corroborada: a de Einstein ou a da Mecânica Quântica? (LEHNER, 2011, p. 222).

Por se tratar de uma teoria extremamente bem-sucedida na explicação de diversos fenômenos do micromundo físico, mas que também provoca discussões filosóficas e existenciais, a Mecânica Quântica acabou atravessando as fronteiras dos ambientes científicos e filosóficos, servindo de referência teórico-conceitual para muitas outras áreas.

A base do paradigma quântico consiste em entender que o aparato matemático da Mecânica Quântica e, especialmente, a probabilidade quântica não estão rigidamente acoplados à Física Quântica, mas podem ter uma classe mais ampla de aplicações. Lembre-se de que o cálculo diferencial e integral foi desenvolvido para servir a Mecânica Newtoniana Clássica. No entanto, hoje em dia ninguém se surpreende com o fato de tais ferramentas serem amplamente utilizadas em todos os lugares, em Engenharia, Biologia, Economia... Da mesma forma, embora o aparato matemático da Mecânica Quântica tenha sido desenvolvido para descrever fenômenos no micromundo, ele poderia ser aplicado à solução de vários problemas fora da Física (ACCARDI *et al.*, 2008, p. 1).

Segundo Cruz (2011), a penetração da Mecânica Quântica em diversas atividades sociais e culturais é notória e pode ser confirmada por meio de uma simples consulta em qualquer ferramenta de busca na *internet*: milhões de entradas para medicina quântica, cura ou terapia quântica, psicologia quântica, mente quântica e tantra quântico. Esta presença em áreas tão diversas, e eventualmente de modo indevido, mostra que a Mecânica Quântica, além de uma teoria revolucionária é também um fenômeno sociocultural.

Apesar da abundância de referências superficiais, equivocadas ou cientificamente inadequadas da teoria quântica em diferentes áreas, existem aplicações e discussões de conceitos e princípios transportados para outros campos que merecem menção. Tais discussões podem envolver aspectos associados à cognição humana, tomada de decisão, teorias socioeconômicas ou debates em educação superior conforme exemplos selecionados a seguir.

Stapp (1996) abordou a função da consciência humana em uma teoria quântica da dinâmica mente-cérebro. Aerts *et al.* (2013), Wang *et al.* (2013), Wendt (2015), além de vários outros autores, apresentaram discussões a respeito de como estruturas baseadas em sistemas quânticos podem modelar o pensamento humano e o processo de cognição.

Como a consciência pode ser incluída às leis já concluídas da Física? Nada eficaz poderia ser incluído se as leis já estivessem completas! Mas as leis quânticas são grosseiramente incompletas antes que a consciência, ou algum substituto da consciência, seja incluído. A experiência é um elemento fundamental da natureza, ou é derivado ou emergente? É fundamental porque as realidades fundamentais são experienciais. Por outro lado, o tipo particular de consciência que nós seres humanos experimentamos é emergente, pois representa uma forma altamente evoluída do tipo ontológico geral. A complexidade de uma experiência humana é uma consequência da complexidade do corpo/cérebro que suporta a atividade física. A complexidade do portador físico, sem dúvida, evoluiu juntamente com a complexidade da realidade experiencial associada (STAPP, 1996, p. 210).

Uma discussão bastante interessante foi apresentada por Westerheijden (1999), que analisou a evolução das publicações sobre garantia de qualidade do ensino superior europeu durante a década de 1990, fazendo uso da metáfora da estrutura subatômica e destacando algumas publicações de grande originalidade e influência como “saltos quânticos”.

O modelo agora clássico, mesmo ultrapassado, mas não errado para o nosso propósito, da Mecânica Quântica de Heisenberg postula que um átomo consiste em um núcleo, construído a partir de prótons e nêutrons, cercado por elétrons, em órbitas bem definidas ao redor daquele núcleo. No nosso caso, as publicações sobre qualidade ou garantia da qualidade são os elétrons, enquanto a qualidade das instituições de ensino superior ou programas de estudo são prótons, e as atividades de garantia da qualidade compõem os nêutrons. Os prótons fornecem a energia elétrica positiva (qualidade adequada); os nêutrons não aumentam a carga do núcleo, mas aumentam a massa atômica total (garantia de qualidade). Certamente, dessa maneira, devemos estar falando de uma partícula pesada na maioria dos sistemas de ensino superior europeus (WESTERHEIJDEN, 1999, p. 234).

Determinados argumentos históricos do desenvolvimento da Mecânica Quântica foram utilizados por Schnute e Haigh (2006) como paradigma na proposição de estratégias da gestão da indústria pesqueira em relação às políticas de sustentabilidade que estabelecem metas e pontos de referência baseados em modelos de estimativa quantitativa para as populações biológicas de interesse.

Como disse Richard Feynman: “Os físicos compreenderam que se gostam ou não de uma teoria, esta não é a questão essencial. A questão é se a teoria dá ou não as previsões que concordam com os experimentos.” Similarmente, a questão na indústria da pesca não é se os pontos de referência acuradamente representam o estoque de biomassa, mas se as políticas desenvolvidas a partir dessas ideias definem ou não boas estratégias de gestão (SCHNUTE e HAIGH, 2006, p. 8).

A teoria da decisão quântica, desenvolvida por Yukalov e Sornette (2009) e discutida por outros autores, é uma variante da teoria da tomada de decisão e refere-se ao esclarecimento do papel do risco e da incerteza na tomada de decisão e, em particular, em relação ao fenômeno da inconsistência dinâmica. A estrutura matemática, baseada em espaço de Hilbert, captura o efeito da superposição de perspectivas compostas, incorporando muitas ações pretendidas. Os autores distinguiram três tipos de inconsistência: inconsistência no tempo, paradoxo no planejamento e inconsistências que ocorrem em alguns efeitos descontínuos.

Sempre houve um interesse constante em como os humanos tomam decisões entre pesquisadores de vários campos. Com base nesse interesse, muitas abordagens, como a teoria da escolha racional ou a hipótese de utilidade esperada, foram propostas. Embora essas abordagens forneçam um terreno adequado para modelar o processo de tomada de decisão em humanos, elas são incapazes de explicar as irracionalidades correspondentes e os paradoxos e falácias existentes. Recentemente, uma nova formulação da teoria da decisão que pode descrever corretamente esses paradoxos e possivelmente fornecer uma teoria geral e unificada da tomada de decisão foi proposta. Essa nova formulação é fundada com base na aplicação da estrutura matemática da teoria quântica aos campos da tomada de decisão e cognição humanas. É mostrado que, aplicando esses modelos quânticos, é possível descrever melhor a incerteza, ambiguidade, emoções e riscos envolvidos no processo de tomada de decisão humana (ASHTIANI e AZGOMI, 2015, p. 49).

Haven e Khrennikov (2013) apresentaram argumentos sobre porque a Mecânica Quântica pode ser aplicada fora da Física como uma Ciência Social Quântica, fornecendo discussões sobre a existência de efeitos probabilísticos quânticos em Psicologia, Economia e Finanças. Svirina *et al.* (2014) propuseram a implementação de princípios quânticos para avaliação do desenvolvimento econômico em estágios do ciclo de negócios, estabelecendo diferenças entre abordagens tradicionais (determinísticas) e abordagens quânticas.

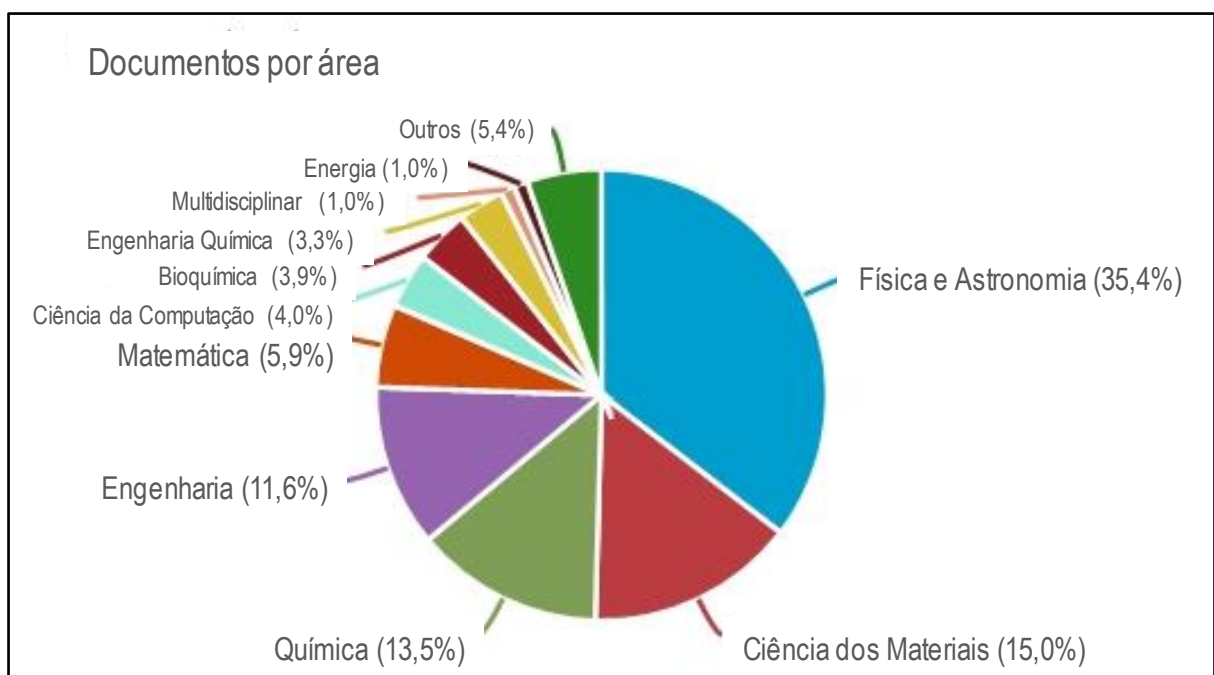
O problema da incerteza como um fator-chave que afeta os processos socioeconômicos foi afirmado por vários estudiosos da economia, mas a definição desse fenômeno permaneceu qualitativa; e no estado atual do desenvolvimento do sistema econômico, a avaliação da incerteza parece se tornar um elemento importante da modelagem, conforme foi delineado por vários estudiosos. Apesar disso, os modelos econômicos atuais são principalmente de natureza regressiva ou multifatorial e a incerteza é avaliada levando-se em consideração a probabilidade de ocorrência de um determinado evento. As evidências práticas existentes mostram que a confiabilidade de tais modelos é relativamente baixa e esse fato indica a necessidade de procurar uma abordagem alternativa no desenvolvimento de modelos econômicos. (SVIRINA *et al.*, 2014, p. 79).

De acordo com Orrell (2018), a abordagem quântica foi inicialmente adotada em Física, não por razões filosóficas obscuras, mas por questões pragmáticas, dada a necessidade de descrever matematicamente a realidade física; e, sob um ponto de vista similarmente pragmático, a questão que se apresenta atualmente é como colocá-las também em uso em Economia. Schuster *et al.* (2018) realizaram um estudo controlado e randomizado da eficácia comparativa dos diferentes modelos disciplinares do ensino das ciências e, na análise dos resultados obtidos, utilizaram uma analogia com o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica para demonstrar as dificuldades existentes.

Embora um estudo em larga escala possa fornecer um tamanho N maior, isso custaria precisão, uma vez que, em termos práticos, fica muito mais difícil preparar, controlar e monitorar todas as situações e fatores instrucionais e da sala de aula que podem corroer a fidelidade ao modelo. Pode-se invocar aqui uma analogia com o princípio da incerteza, na medida em que o número de professores e alunos envolvidos aumenta, a fidelidade do professor e da sala de aula ao modelo se torna cada vez mais incerta (SCHUSTER *et al.*, 2018, p. 427).

Em suma, há diversas referências teóricas à Mecânica Quântica nos mais variados ramos do conhecimento humano, com óbvio destaque para a Física conforme indicado na Figura 21, porém a revisão da literatura referente a tais discussões e o levantamento quantitativo de publicações não indicaram trabalhos que associassem o Princípio da Incerteza ao processo de avaliação de conformidade, além dos artigos elaborados por este pesquisador.

Figura 21 – Publicações que mencionam *quantum* ou *uncertainty principle* por área



Fonte: Baseado em Brasil (2020).

A Tabela 3 apresenta um resumo da consulta às bases *Scopus* e *Web of Science* via Portal de Periódicos CAPES/MEC envolvendo combinações de palavras-chave, que além de demonstrar a enorme quantidade de referências à teoria quântica, também se caracteriza como um dos indicadores do caráter inovador desta pesquisa de doutorado. Os artigos produzidos ao longo desta pesquisa estão disponíveis para visualização como Apêndices B e G.

Tabela 3 – Publicações envolvendo referências à teoria quântica

<i>CONSULTA COMPARATIVA ENTRE AS PRINCIPAIS BASES</i>			<i>CONTAGEM DE ARTIGOS</i>	
<i>palavra-chave 1</i>	<i>palavra-chave 2</i>	<i>palavra-chave 3</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
<i>quantum</i>	-	-	884560	768661
<i>quantum</i>	<i>approach</i>	-	96415	90421
<i>quantum</i>	<i>analogy</i>	-	4696	3908
<i>uncertainty principle</i>	-	-	4688	4093
<i>quantum</i>	<i>approach</i>	<i>analogy</i>	716	653
<i>uncertainty principle</i>	<i>analogy</i>	-	57	47
<i>quantum</i>	<i>conformity assessment</i>	-	2	1
<i>quantum</i>	<i>conformity assessment</i>	<i>analogy</i>	1	1
<i>uncertainty principle</i>	<i>conformity assessment</i>	-	1	1
<i>uncertainty principle</i>	<i>conformity assessment</i>	<i>analogy</i>	1	1

Fonte: Baseado em Brasil (2020).

3 MÉTODO

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Dentre as diversas classificações propostas pelos principais autores da área de metodologia de pesquisa científica, foi considerada como referência uma estruturação voltada especificamente à pesquisa em engenharia de produção, com destaque aos aspectos da natureza, dos objetivos, da abordagem e dos métodos aplicáveis conforme exposto no Quadro 14.

Quadro 14 – Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção

CLASSIF.	TIPO	DESCRIÇÃO RESUMIDA
<i>Quanto à natureza</i>	<i>Básica</i>	<i>Busca o progresso científico e a ampliação de conhecimentos teóricos.</i>
	<i>Aplicada</i>	<i>O foco concentra-se na solução de problemas de interesse prático.</i>
<i>Quanto aos objetivos</i>	<i>Exploratória</i>	<i>Estudar um problema para torná-lo explícito ou construir hipóteses.</i>
	<i>Descritiva</i>	<i>Descrever as características de determinada população ou fenômeno.</i>
	<i>Explicativa</i>	<i>Identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.</i>
	<i>Normativa</i>	<i>Desenvolver estratégias e ações para aperfeiçoar os resultados disponíveis.</i>
<i>Quanto à abordagem</i>	<i>Quantitativa</i>	<i>Opiniões e dados são quantificados para classificação e análise.</i>
	<i>Qualitativa</i>	<i>O processo e seu significado são os focos principais da abordagem.</i>
	<i>Combinada</i>	<i>Combinação de aspectos qualitativos e quantitativos na pesquisa.</i>
<i>Quanto aos métodos</i>	<i>Experimento</i>	<i>Observação dos efeitos que variáveis controladas produzem em um determinado objeto de estudo (abordagem quantitativa).</i>
	<i>Levantamento ou Survey</i>	<i>Quando a pesquisa envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer (abordagem quantitativa).</i>
	<i>Modelagem e Simulação</i>	<i>Quando se deseja experimentar, através de um modelo, como um sistema responderá a modificações que lhe são propostas (abordagem quantitativa).</i>
	<i>Estudo de Caso</i>	<i>Estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento (abordagem qualitativa).</i>
	<i>Pesquisa-Ação</i>	<i>Pesquisa concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo (abordagem qualitativa).</i>
	<i>Estudo de Campo</i>	<i>Métodos empíricos de pesquisa com a presença de dados de campo, sem estruturação formal do método de pesquisa (abordagem qualitativa).</i>

Fonte: Baseado em Bertrand e Fransoo (2002), Filippini (1997), Gil (2010) e Silva e Menezes (2005).

A partir da classificação apresentada no Quadro 14, pode-se efetuar a seguinte caracterização desta pesquisa de doutorado:

- Quanto à natureza esta pesquisa é aplicada, pois se presta ao desenvolvimento de um novo procedimento para a realização das atividades de avaliação de conformidade em indústrias e laboratórios de ensaio;
- É normativa quanto aos objetivos, visto que tal procedimento apresenta um conjunto de estratégias para melhoria de resultados relativos ao processo de avaliação de conformidade no ambiente industrial;
- A abordagem é qualitativa, uma vez que o processo de pesquisa está direcionado à interpretação dos fenômenos do referido processo com análise de resultados de forma indutiva;
- O método empregado é estudo de campo, pois trata-se da investigação dos resultados da aplicação prática do procedimento proposto em duas empresas industriais distintas e com participação direta do pesquisador.

Segundo Mello *et al.* (2012), a maioria dos métodos de pesquisa inicia-se com a leitura da bibliografia pertinente para a identificação de lacunas na literatura que motivariam o desenvolvimento de questões e a realização da pesquisa para respondê-las. No entanto, em boa parte dos programas de pós-graduação das universidades brasileiras, alguns pesquisadores que trabalham em empresas já trazem consigo alguns problemas que necessitam de solução. Em tais casos, os pesquisadores fazem o processo inverso, ou seja, partem dos problemas e buscam na literatura as possíveis soluções.

No caso deste trabalho, já foi relatado no capítulo introdutório que as questões e a justificativa de pesquisa, bem como sua delimitação, apresentaram-se para este pesquisador a partir da realização de atividades profissionais associadas à avaliação de conformidade em indústrias e em laboratórios de ensaios do Brasil e do exterior. Em outras palavras, esta pesquisa de doutorado foi motivada pela necessidade de melhorar uma situação prática existente na realização das atividades de avaliação de conformidade; fato que confirma a caracterização como pesquisa de natureza aplicada e normativa quanto aos objetivos.

De acordo com Bryman (1989), a pesquisa qualitativa é uma estratégia geralmente indutiva, construcionista e interpretativa; vem obtendo considerável crescimento desde a década de 1970 com base em métodos das ciências sociais. Desta forma, considerando também as orientações acerca do método científico com base em Laville e Dionne (1999), Marconi e Lakatos (2010), Martins (2012) e Miguel (2012), optou-se pela abordagem qualitativa na presente pesquisa, pois a ideia geral é realizar interpretações e induções acerca do processo de avaliação de conformidade em indústrias manufatureiras nos casos em que a ferramenta adotada

seja a dupla inspeção de registros. Em relação ao método optou-se pelo estudo de campo, pois tal método possibilita a observação *in loco* das características de interesse, uma vez que a pesquisa não é conduzida em laboratório, mas sim no *habitat natural* do objeto em questão. De acordo com Hendrick (2006), o método de estudo de campo e sua variação, o experimento de campo, juntamente com levantamentos, são os meios mais antigos e clássicos de estudar organizações. O estudo de campo é usado para reunir informação sobre o funcionamento organizacional ou do sistema de trabalho por meio de observação direta e sistemática.

Segundo Westbrook (1995), os principais métodos de pesquisa em gestão de produção e operações são os vários tipos de pesquisa empírica, tais como levantamento ou *survey*, estudo de caso e pesquisa-ação, sendo que a pesquisa-ação pode ser considerada uma variação do estudo de caso. Entretanto, Turriani e Mello (2012) ressaltam que no estudo de caso o pesquisador é um observador que não interfere no objeto de estudo, ao passo que na pesquisa-ação o pesquisador interfere de forma cooperativa com os participantes da ação, contribuindo para a resolução do problema e para a consolidação do conhecimento. Na interpretação de Wacker (1998), as subcategorias do estudo de caso incluem estudo de campo e pesquisa-ação. Todavia, na visão de Gil (2010) e Zanella (2013), o estudo de campo apresenta muitas semelhanças com o levantamento, distinguindo-se, porém, em alguns aspectos relevantes. De modo geral, pode-se dizer que o levantamento tem maior alcance e o estudo de campo, maior profundidade. Severino (2016) utiliza o termo pesquisa de campo para caracterizar o método no qual a coleta dos dados é efetuada nas condições naturais em que os fenômenos ocorrem, abrangendo desde os levantamentos (*surveys*), que são mais descritivos, até estudos mais analíticos.

Em termos práticos, podem ser feitas duas distinções essenciais entre levantamento e estudo de campo. Primeiramente, o levantamento procura ser representativo de universo definido e oferecer resultados caracterizados pela precisão estatística. Já o estudo de campo procura muito mais o aprofundamento das questões propostas do que a distribuição das características da população segundo determinadas variáveis. Como consequência, o planejamento do estudo de campo apresenta maior flexibilidade, podendo ocorrer mesmo que seus objetivos sejam reformulados ao longo da pesquisa. Outra distinção é que no levantamento procura-se identificar as características dos componentes do universo pesquisado, possibilitando a caracterização precisa de seus segmentos. No estudo de campo estuda-se um único grupo ou comunidade em termos de sua estrutura social, ou seja, ressaltando a interação entre seus componentes. Desta forma, o estudo de campo tende a utilizar muito mais técnicas de observação do que de interrogação (GIL, 2010, p. 52).

Um fator adicional que também fundamenta a definição do método de pesquisa refere-se ao comentário apresentado por Gil (2010) que esclarece que no estudo de campo a maior parte do trabalho é realizada pessoalmente pelo pesquisador, enfatizando a importância de que o

pesquisador tenha tido ele mesmo uma experiência direta com a situação de estudo. Este é exatamente o caso desta pesquisa acadêmica, conforme previamente exposto. Além disso, segundo argumentação apresentada por Voss *et al.* (2002) em um trabalho sobre pesquisa em gestão de operações, a pesquisa de campo é uma das estruturas indicadas quando se pretende construir e testar teorias. Este também é o caso da presente pesquisa, pois o principal propósito é testar e validar o procedimento FCAUP para avaliação de conformidade. Aliás, é importante ressaltar que “nada é tão prático quanto uma boa teoria” (VAN DE VEN, 1989, p. 486).

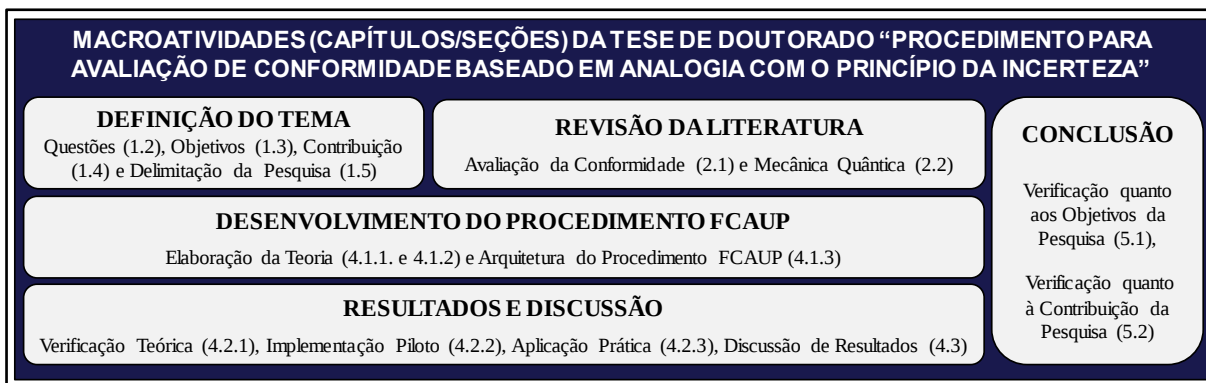
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

3.2.1 Definição do Roteiro de Atividades

O desenvolvimento desta pesquisa de doutorado foi planejado com base em um roteiro com as seguintes atividades principais (vide resumo no diagrama da Figura 22):

- Definição do tema a ser estudado com base em situações identificadas na avaliação de conformidade em indústrias, bem como em leituras e consultas preliminares;
- Formulação das questões de pesquisa e de seus pressupostos (vide seção 1.2), definição dos objetivos gerais e específicos (seção 1.3), ponderação sobre a contribuição da pesquisa (seção 1.4) e delimitação da pesquisa no ambiente industrial (seção 1.5);
- Revisão da literatura, especificamente as disciplinas Avaliação da Conformidade (seção 2.1) e Mecânica Quântica (seção 2.2);
- Elaboração da teoria fundamentada em uma analogia com o Princípio da Incerteza (subseções 4.1.1 e 4.1.2) e definição da arquitetura do procedimento FCAUP (subseção 4.1.3);
- Verificação teórica do procedimento FCAUP, efetivada a partir da releitura de registros existentes de três avaliações de conformidade reais (subseção 4.2.1);
- Implementação piloto do procedimento FCAUP por meio de estudo de campo na empresa Boatmate Trailers (Maryville/TN, EUA), com obtenção dos primeiros resultados práticos para consolidação da teoria (subseção 4.2.2);
- Aplicação prática do procedimento FCAUP via estudo de campo na empresa API América Latina (São José dos Campos/SP, Brasil), com aquisição de resultados operacionais concretos que possibilitaram a validação da ferramenta (subseção 4.2.3);
- Discussão dos resultados (seção 4.3) e verificação quanto ao atingimento dos objetivos (seção 5.1) e contribuição da pesquisa (seção 5.2).

Figura 22 – Principais atividades desta pesquisa de doutorado



Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.2 Planejamento do Estudo de Campo

Para a condução do estudo de campo foram selecionadas duas unidades de análise: uma empresa fabricante de reboques para barcos, Boatmate Trailers, localizada em Maryville no estado americano do Tennessee e uma empresa de metrologia, API América Latina, localizada em São José dos Campos no estado de São Paulo. O contato inicial e as atividades desempenhadas junto à empresa do Tennessee ocorreram durante o período sanduíche deste pesquisador na Universidade do Tennessee em Knoxville/TN, EUA. Por se tratar da primeira aplicação prática do procedimento FCAUP, estabeleceu-se para a empresa americana uma estratégia de implementação piloto conforme detalhado na subseção 4.2.2. As atividades de pesquisa realizadas na empresa de São José dos Campos foram viabilizadas devido a um relacionamento profissional previamente estabelecido entre a empresa e este pesquisador. Os detalhes da implementação completa do procedimento FCAUP na empresa brasileira são apresentados na subseção 4.2.3.

Em relação ao planejamento da implementação e aplicação prática do procedimento FCAUP foi elaborado um protocolo de pesquisa, uma vez que, de acordo com Yin (2015), o protocolo é uma das táticas principais para se aumentar a confiabilidade da pesquisa e destina-se a orientar o pesquisador ao conduzir um estudo de caso. Turrioni e Mello (2012) destacam que, apesar do método de estudo de caso possuir características diferentes do método de pesquisa-ação, a elaboração de um protocolo de pesquisa em pesquisa-ação pode igualmente contribuir para a melhoria da confiabilidade do trabalho. Com base em tais argumentos foi considerado um protocolo de pesquisa para o estudo de campo nos mesmos moldes dos protocolos utilizados em estudo de caso e pesquisa-ação (vide Quadro 15).

Para auxiliar o planejamento e viabilizar a implementação do procedimento FCAUP foi apresentado um plano específico para a empresa americana (vide Apêndice C) e um plano específico para a empresa brasileira (vide Apêndice E) com os seguintes tópicos: objetivo geral, definição da equipe envolvida, contextualização, questões e justificativa de pesquisa, definição do método e das estratégias, resultados esperados e principais referências bibliográficas.

Como o estudo de campo foi planejado para ocorrer em pelo menos duas empresas diferentes, em países distintos, com características particulares e com culturas institucionais próprias, buscou-se efetivamente garantir que a participação deste pesquisador, enquanto inserido no contexto de cada empresa, fosse pautada pela total aderência aos princípios básicos de integridade, ética profissional, respeito ao ser humano e atendimento aos critérios solicitados de segurança e saúde ocupacional e segurança da informação. Este comportamento pessoal está alinhado aos códigos de boas práticas expressos em ABNT (2018) e ABNT (2005b).

Quadro 15 – Seções típicas de um protocolo de pesquisa

SEÇÃO	CONTEÚDO
<i>Visão geral da pesquisa</i>	<i>Objetivos e patrocínios do projeto; questões de pesquisa; problema prático a ser solucionado; contribuição científica para a base de conhecimento; leituras importantes sobre o tópico investigado.</i>
<i>Procedimento de campo</i>	<i>Definição da unidade de análise; definição do grupo de pesquisa (pesquisadores e participantes da unidade de análise); definir autoridade para a pesquisa; estabelecer uma agenda adequada das ações para coleta de dados; definir os ciclos da pesquisa (ciclo de melhoria e aprendizagem); fontes gerais de informações.</i>
<i>Questões de pesquisa</i>	<i>Questões específicas para o pesquisador para coleta de dados; lista de fontes de evidências prováveis após cada questão; planilha para disposição de dados; fontes potenciais de informações para cada questão.</i>
<i>Guia para o relatório da pesquisa</i>	<i>Resumo; formato de narrativa; indicação da quantidade de documentos utilizados no relatório; especificação de informações bibliográficas; especificação de outras documentações.</i>

Fonte: Adaptado de Mello et al. (2012) e Yin (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO FCAUP

4.1.1 Incerteza e Abordagens da Avaliação de Conformidade

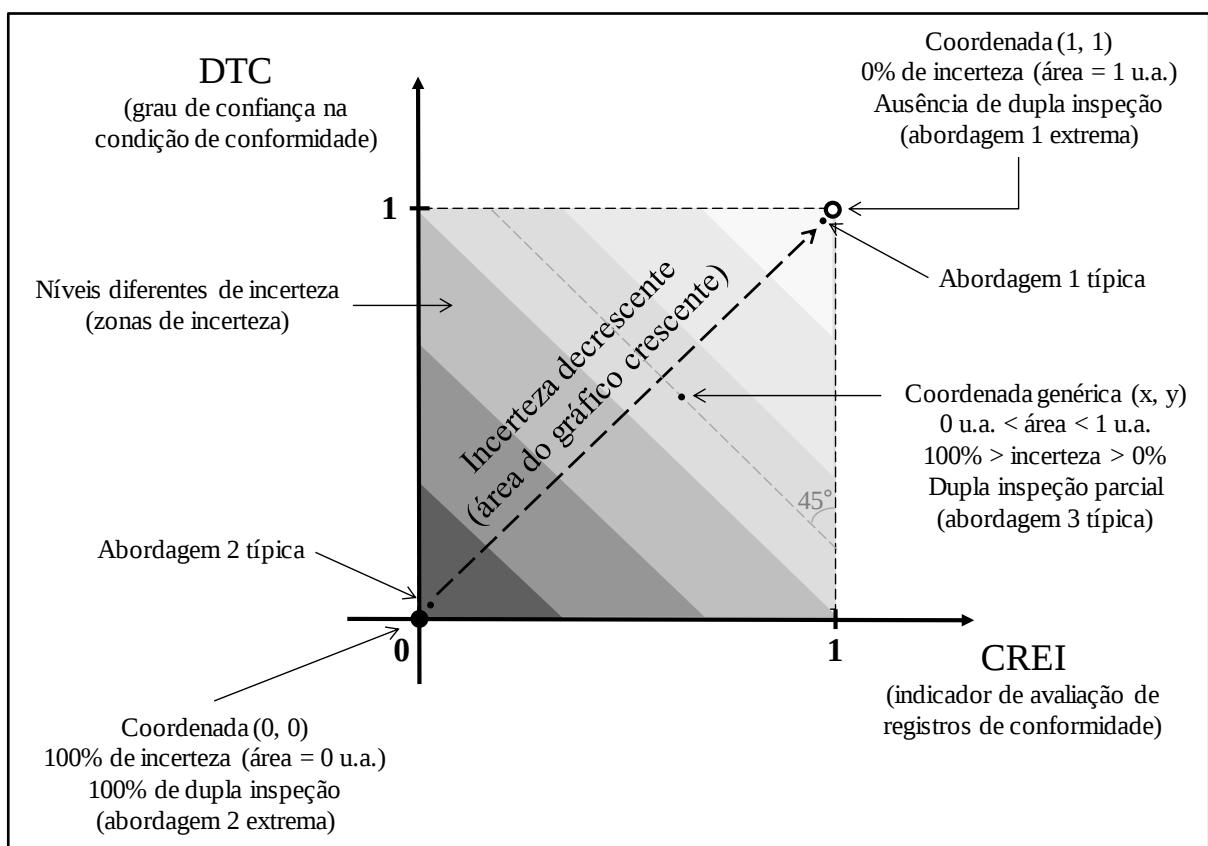
Conforme previamente mencionado, a realização formal de avaliação de conformidade de primeira parte em indústrias manufatureiras pode estar relacionada, mas não limitada, à liberação final de produtos, ao desenvolvimento e certificação de novos produtos, à qualificação de processos industriais ou melhoria de processos existentes e à implantação, certificação e manutenção de sistemas de gestão, tais como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ou sistemas integrados de gestão. Por exemplo, a auditoria interna do sistema integrado de gestão nada mais é do que uma técnica utilizada para a execução de avaliação de conformidade de primeira parte em relação aos requisitos normativos aplicáveis. Além disso, a emissão de qualquer declaração quanto à conformidade de um determinado produto, serviço, processo ou sistema no ambiente industrial deveria ser precedida por atividades minimamente estruturadas de avaliação de conformidade. Existem circunstâncias semelhantes nos diversos tipos de laboratórios, quer sejam de metrologia ou de ensaios.

Entretanto, ocorrem algumas situações de incerteza durante a avaliação de conformidade em indústrias e laboratórios nas quais a tomada de decisão se concretiza, não somente por meio de exame dos registros de conformidade (relatórios de inspeção, relatórios de ensaios, etc.) e verificações *in loco*, mas também pela percepção particular do avaliador quanto a uma suposta condição de conformidade. Para possibilitar um entendimento sistemático de tais situações foi estabelecida na presente pesquisa uma representação gráfica de duas dimensões em um diagrama inicialmente inspirado no conceito do diagrama de Argand, o mesmo utilizado em números complexos, conforme indicado na Figura 23. Nesta referência ao diagrama de números complexos para a abordagem inicial do processo de avaliação de conformidade, o parâmetro objetivo, no caso um indicador de avaliação de registros de conformidade (*CREI – conformity record evaluation index*), pode ser medido pelo eixo real (eixo das abscissas) e o parâmetro subjetivo, no caso o grau de confiança na condição de conformidade (*DTC – degree of trust in conformity status*), pode ser representado no eixo imaginário (eixo das ordenadas).

A coordenada (1, 1), indicada pelo ponto branco da Figura 23, simboliza a situação ideal em avaliação de conformidade na qual todos os registros de conformidade existentes estão disponíveis e foram detalhadamente analisados enquanto, ao mesmo tempo, há por parte do avaliador uma total e inquestionável confiança na condição de conformidade do objeto sob

avaliação. Este cenário teórico e extremo tornaria desnecessário qualquer esforço adicional de inspeção para avaliar a conformidade do objeto em questão, ou seja, não seria requerida dupla inspeção, exatamente como preconizado pela abordagem 1 indicada na Figura 5 do capítulo introdutório. Assim sendo, situações práticas de avaliação de conformidade representadas em uma localização típica muito próxima ao ponto branco, coordenada (1, 1), poderiam ser administradas sem inspeção adicional devido ao fato de que o nível de incerteza envolvido, e consequentemente os riscos associados, seriam ambos extremamente baixos.

Figura 23 – Avaliação de registros de conformidade vs. grau de confiança na conformidade



Fonte: Produção do próprio autor.

Por outro lado, a coordenada (0, 0), indicada por um ponto preto na Figura 23, simboliza o pior cenário em avaliação de conformidade no qual os registros não estão disponíveis ou não foram avaliados e o grau de confiança do avaliador na condição de conformidade é nulo. Neste cenário hipotético e extremo seriam necessários todos os esforços adicionais de inspeção para avaliar a conformidade do objeto em questão, isto é, uma dupla inspeção completa, exatamente como recomendado pela abordagem 2 indicada na Figura 5. Consequentemente, para situações práticas de avaliação de conformidade representadas em uma localização típica muito próxima

ao ponto preto, coordenada (0, 0), deveriam ser considerados todos os esforços adicionais de inspeção devido ao fato de que o nível de incerteza e os riscos seriam extremamente altos.

As zonas intermediárias acinzentadas do diagrama da Figura 23 denotam situações típicas de incerteza em diferentes níveis, sendo que os tons mais escuros simbolizam maior incerteza e os tons mais claros representam menor incerteza. Para tais zonas intermediárias os esforços adicionais de inspeção para avaliar a conformidade do objeto poderiam estar associados aos níveis decrescentes de incerteza demandando dupla inspeção parcial conforme sugerido por meio da abordagem 3 da Figura 5, mas em diferentes gradientes. Uma visão completa deste diagrama adaptado demonstra que, a partir do ponto preto, coordenada (0, 0), de incerteza absoluta (necessidade de dupla inspeção completa), movendo-se pela diagonal principal que atravessa as zonas intermediárias de incerteza (necessidade de dupla inspeção parcial), atinge-se o ponto branco, coordenada (1, 1) de incerteza nula no qual a dupla inspeção é desnecessária.

Portanto, pode ser estabelecida uma correlação prática quantitativa entre os níveis de incerteza e as áreas geométricas das zonas do diagrama da Figura 23: a área do diagrama aumenta à medida que o nível de incerteza diminui na mesma proporção. Observa-se que a diagonal principal é também uma seta indicando simultaneamente a área do gráfico crescente e a incerteza decrescente. A figura sombreada que se forma sob o ponto branco, coordenada (1, 1), é um quadrado com 1 unidade de medida linear (u.l.) de lado, 1 unidade de medida de área (u.a.) e com menor incerteza no ponto em questão (0%), ou seja, não é requerida dupla inspeção (abordagem 1 extrema). No entanto, a área correspondente ao ponto preto, coordenada (0, 0), é igual a 0 u.a. e o nível de incerteza atinge o maior valor (100%), demandando então 100% de dupla inspeção (abordagem 2 extrema). Esta correlação quantitativa pode ser generalizada para todas as zonas intermediárias acinzentadas do diagrama de forma que, dado um ponto qualquer em uma coordenada genérica (x, y) da zona intermediária, é possível calcular:

- A área geométrica da figura sombreada formada entre a coordenada (0, 0) e a linha tracejada inclinada (45°) que passa pelo ponto genérico em questão e é paralela à diagonal secundária que interliga as coordenadas (1, 0) e (0, 1);
- A área remanescente, ou seja, a área total subtraída pela área geométrica calculada.

Consequentemente a partir de tais cálculos é possível determinar a zona de incerteza, numericamente igual à área remanescente, e que corresponde diretamente à recomendação quantitativa em termos de percentual mínimo de duplas inspeções a serem efetuadas, isto é, dupla inspeção parcial (abordagem 3 típica).

Contudo, não se deve assumir como verdade absoluta que um acréscimo na quantidade de duplas inspeções resultará indubitavelmente em uma completa eliminação da incerteza

inerente ao processo de avaliação de conformidade. Além disso, em muitas situações práticas existem restrições técnicas, operacionais, econômicas, cronológicas ou físicas que impedem a realização de duplas verificações. Entretanto, sempre que possível e quando aplicável, pode-se utilizar a dupla inspeção como uma técnica adequada para reduzir o nível de incerteza associado às atividades operacionais de avaliação de conformidade.

Para que o diagrama de duas dimensões da Figura 23 seja útil em termos práticos, são necessárias algumas observações adicionais sobre o parâmetro objetivo no eixo das abscissas e também sobre o parâmetro subjetivo no eixo das ordenadas. No caso do parâmetro objetivo CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade), uma possível definição é indicada pela Equação (5). Desta forma, o eixo das abscissas torna-se adequadamente representado por uma variável quantitativa contínua ($0 \leq CREI \leq 1$), o que é perfeitamente coerente com a ideia geral do diagrama em questão.

$$CREI = \frac{Quant_{exam.}}{Quant_{total}} \quad (5)$$

Onde:

CREI = *conformity record evaluation index* (indicador de avaliação de registros de conformidade);

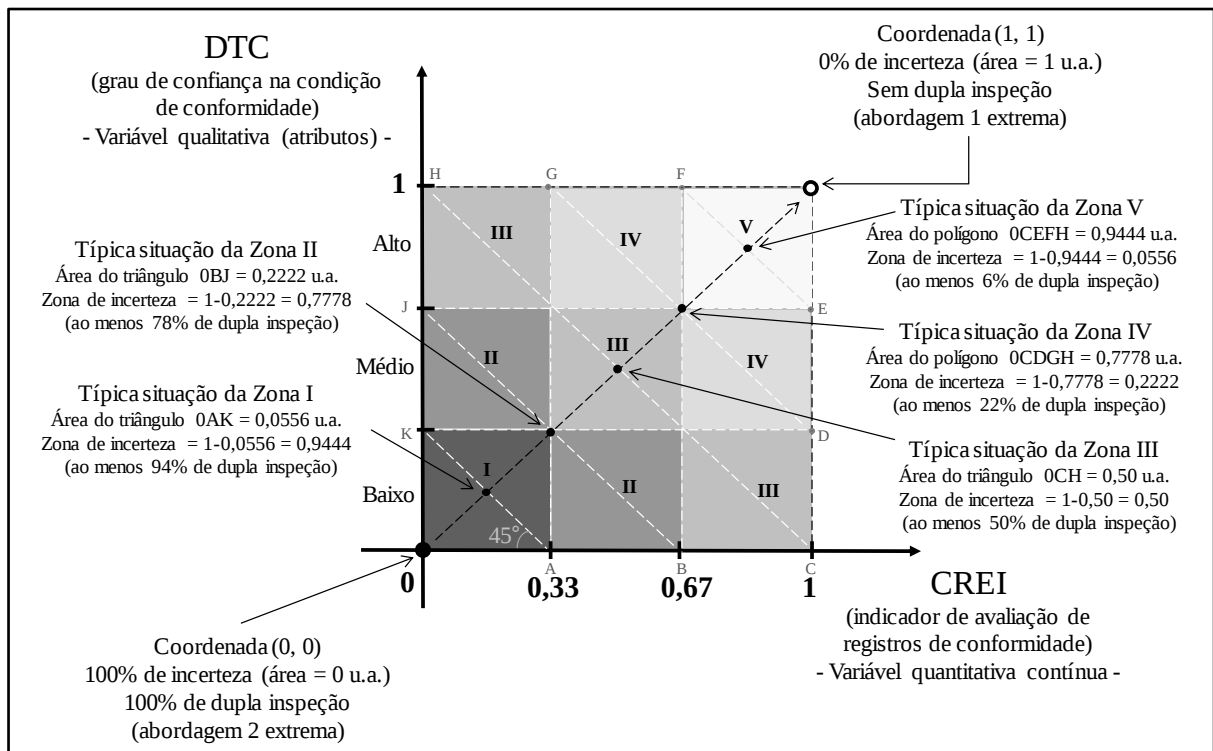
Quant_{exam.} = quantidade de registros de conformidade examinados detalhadamente;

Quant_{total} = quantidade total de registros de conformidade disponíveis.

Contudo, em relação ao grau de confiança na condição de conformidade (DTC), que é um parâmetro subjetivo fortemente associado a julgamentos pessoais, não é possível representá-lo por meio de variável quantitativa contínua, mas sim por meio de variável qualitativa ordinal. Consequentemente, a utilização de atributos é a forma mais adequada de representação no eixo das ordenadas do diagrama da Figura 23. Por exemplo, baixo e alto são os atributos mais simples e diretos que poderiam ser associados ao grau de confiança na suposta condição de conformidade. Porém somente dois atributos podem ser insuficientes para representar os níveis relacionados à confiança na conformidade e, além do mais neste caso específico, apenas um par de atributos desconsidera a ocorrência de atributo intermediário, por exemplo o atributo médio. Portanto, no mínimo três atributos, baixo, médio e alto, seriam mais representativos em termos de grau de confiança na condição de conformidade (DTC) no eixo das ordenadas.

A Figura 24 ilustra a configuração do diagrama no caso em que os três atributos (baixo, médio e alto) no eixo das ordenadas são associados à variável quantitativa contínua no eixo das abscissas. A escala de 0 a 1 no eixo das abscissas (quantitativo) é facilmente entendida, uma vez que $0 \leq CREI \leq 1$; porém a escala de 0 a 1 no eixo das ordenadas (qualitativo) merece a seguinte interpretação: valor 0 (0%) para a ausência total de confiança e valor 1 (100%) para a confiança total na condição de conformidade. Nesta configuração específica, as variáveis nos dois eixos apresentam a mesma magnitude e o diagrama é geometricamente simétrico. Como o eixo das ordenadas possui três intervalos idênticos correspondentes aos três atributos, o eixo das abscissas também deve ser dividido em três intervalos iguais (0 a 0,3333; 0,3333 a 0,6667 e 0,6667 a 1) para garantir a total simetria. Com isso, nove segmentos são formados, sendo que cada segmento é um quadrado de lado 0,3333 u.l. e área igual a 0,1111 u.a. Tais segmentos podem ser convenientemente agrupados em cinco diferentes zonas do diagrama: zona I com apenas um segmento, zona II com dois segmentos, zona III composta por três segmentos, zona IV com dois segmentos e zona V com somente um segmento.

Figura 24 – Avaliação de registros de conformidade com 3 graus de confiança na conformidade



Fonte: Produção do próprio autor.

A recomendação em termos de percentual mínimo de duplas inspeções a serem efetuadas durante a avaliação de conformidade é decorrente do cálculo das áreas das zonas, pois a área

do diagrama aumenta à medida que o nível de incerteza diminui na mesma proporção. Para possibilitar tais cálculos, foi adotado um ponto intermediário como típico e representativo de cada zona do diagrama da Figura 24. Assim sendo, para a zona I foi adotado o ponto médio da linha tracejada que une os pontos A e K; na zona II o ponto médio entre os pontos B e J; na zona III o ponto médio entre pontos C e H; na zona IV o ponto médio entre os pontos D e G; e para a zona V o ponto médio entre os pontos E e F.

Desta forma, para qualquer combinação de CREI e DTC durante as atividades iniciais de avaliação de conformidade, obtém-se graficamente a recomendação quantitativa em termos de dupla inspeção parcial a partir da comparação de áreas. Por exemplo, em uma situação na qual o avaliador tenha efetuado um exame superficial dos registros de conformidade ($CREI = 0,25$) e tenha um baixo grau de confiança na condição de conformidade, a correspondência recai sobre a zona I do diagrama da Figura 24. Neste caso, como o ponto típico e representativo da zona I é o ponto médio entre os pontos A e K, a área geométrica da figura sombreada formada entre a coordenada (0, 0) e a linha que une os pontos A e K (triângulo 0AK) é igual a 0,0556 u.a. Logo, a área remanescente é igual a 0,9444 u.a., valor numericamente igual ao valor da zona de incerteza e, portanto, a recomendação em termos de percentual mínimo de dupla inspeção é 0,9444 ou aproximadamente 94%.

Raciocínio idêntico pode ser utilizado em todas as possíveis combinações de CREI e DTC com três atributos e portanto, além da recomendação mínima de 94% de dupla inspeção para a zona I, tem-se a recomendação de 78% para a zona II, 50% para a zona III, 22% para a zona IV e 6% para a zona V conforme detalhado nos cálculos da Figura 24. Uma outra forma de cálculo e que fornece exatamente os mesmos resultados é apresentada em detalhes na Tabela 4.

Uma interpretação geral sobre as recomendações quantitativas em termos de dupla inspeção parcial, que considera três graus de confiança na condição de conformidade (DTC), três intervalos relativos ao indicador de avaliação de registros de conformidade (CREI) e nove segmentos agrupados nas zonas I, II, III, IV e V, pode ser resumida na forma de uma matriz de decisão conforme indicado na Tabela 5. Assim sendo, é possível assumir que a zona I (94% de dupla inspeção) e a zona II (78% de dupla inspeção) referem-se a situações mais complexas ou delimitadas por um cenário pessimista; a zona III (50% de dupla inspeção) associa-se a situações intermediárias, ao passo que a zona IV (22% de dupla inspeção) e a zona V (6% de dupla inspeção) indicam situações menos complexas ou que representam um cenário mais otimista.

Tabela 4 – Cálculos considerando 3 graus de confiança na conformidade e 5 zonas de incerteza

Análise Combinada das Variáveis CREI e DTC				
3 graus de confiança na conformidade (baixo, médio, alto) e 5 zonas de incerteza (I a V)				
Zona	Área da Zona (u.a.)	Área complementar (área total menos áreas das zonas anteriores)	Zona de Incerteza (metade da área da zona mais área complementar)	Recomendação em termos de porcentagem mínima de dupla inspeção
I	0,1111... (1×0,1111)	0,8888... (1 - 0,1111)	0,9444... (0,1111/2 + 0,8889)	94%
II	0,2222... (2×0,1111)	0,6666... (1 - 0,1111 - 0,2222)	0,7777... (0,2222/2 + 0,6667)	78%
III	0,3333... (3×0,1111)	0,3333... (1-0,1111-0,2222-0,3333)	0,5000 (0,3333/2 + 0,3334)	50%
IV	0,2222... (2×0,1111)	0,1111... (1 - 0,1111 - 2×0,2222 - 0,3333)	0,2222... (0,2222/2 + 0,1111)	22%
V	0,1111... (1×0,1111)	0 [1 - (2.0,1111) - (2.0,2222) - 0,3333]	0,0555... (0,1111/2 + 0)	6%

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 5 – Matriz de decisão com 3 graus de confiança na condição de conformidade

Recomendações em termos de dupla inspeção		CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade)		
		$0 \leq \text{CREI} \leq 0,33$	$0,33 < \text{CREI} < 0,67$	$0,67 \leq \text{CREI} \leq 1$
DTC	Alto	50% (Zona III)	22% (Zona IV)	6% (Zona V)
Grau de confiança na conformidade	Médio	78% (Zona II)	50% (Zona III)	22% (Zona IV)
	Baixo	94% (Zona I)	78% (Zona II)	50% (Zona III)

Fonte: Produção do próprio autor.

Além dos três atributos baixo, médio e alto discutidos para a variável DTC, é possível também considerar uma quantidade maior de atributos durante a definição do grau de confiança na conformidade. Por exemplo, quatro atributos poderiam ser associados ao DTC, entretanto, assim como no caso de dois atributos, a utilização de quatro atributos desconsidera a ocorrência de atributo intermediário. Assim sendo, ao invés de quatro, seria mais interessante a representação do eixo das ordenadas com cinco atributos, tais como muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Com esta nova configuração de cinco atributos para DTC, mas com as mesmas premissas, um novo diagrama também seria geometricamente simétrico e com as seguintes características:

- Eixo das ordenadas com cinco intervalos idênticos correspondentes aos cinco atributos (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto);
- Eixo das abscissas dividido em cinco intervalos iguais (0 a 0,2; 0,2 a 0,4; 0,4 a 0,6; 0,6 a 0,8 e 0,8 a 1);
- Vinte e cinco segmentos, sendo cada segmento um quadrado de lado 0,2 u.l. e área igual a 0,04 u.a.;
- Agrupamento dos vinte e cinco segmentos em nove zonas com o seguinte formato: zona I (um segmento), zona II (dois segmentos), zona III (três segmentos), zona IV (quatro segmentos), zona V (cinco segmentos), zona VI (quatro segmentos), zona VII (três segmentos), zona VIII (dois segmentos) e zona IX (um segmento);
- Cálculos sobre as recomendações de dupla inspeção parcial resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Cálculos considerando 5 graus de confiança na conformidade e 9 zonas de incerteza

Análise Combinada das Variáveis CREI e DTC				
5 graus de confiança na conformidade (muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto)				
9 zonas de incerteza (I a IX)				
Zona	Área da Zona (u.a.)	Área complementar (área total menos áreas das zonas anteriores)	Zona de Incerteza (metade da área da zona mais área complementar)	Recomendação em termos de porcentagem mínima de dupla inspeção
I	0,04 (1×0,04)	0,96 (1 - 0,04)	0,98 (0,04/2 + 0,96)	98%
II	0,08	0,88	0,92	92%
III	0,12	0,76	0,82	82%
IV	0,16	0,60	0,68	68%
V	0,20 (5×0,04)	0,40 (1 - 0,04 - 0,08 - 0,12 - 0,16 - 0,20)	0,50 (0,20/2 + 0,40)	50%
VI	0,16	0,24	0,32	32%
VII	0,12	0,12	0,18	18%
VIII	0,08	0,04	0,08	8%
IX	0,04 (1×0,04)	0 [1 - (2×0,04) - (2×0,08) - (2×0,12) - (2×0,16) - 0,20]	0,02 (0,04/2 + 0)	2%

Fonte: Produção do próprio autor.

As sugestões quantitativas em relação ao percentual mínimo de dupla inspeção parcial definidas na Tabela 6, da zona I (98% de dupla inspeção, a mais pessimista) até a zona IX (2% de dupla inspeção, a mais otimista), estão adequadamente combinadas na Tabela 7 na forma de uma matriz de decisão com cinco graus de confiança na condição de conformidade (DTC) e cinco intervalos no indicador de avaliação de registros de conformidade (CREI). Também neste caso, a zona intermediária (zona V) apresenta uma recomendação de 50% de dupla inspeção.

Tabela 7 – Matriz de decisão com 5 graus de confiança na condição de conformidade

Recomendações em		CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade)				
termos de dupla inspeção		0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1
DTC	Muito	50%	32%	18%	8%	2%
	Alto	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)
	Alto	68%	50%	32%	18%	8%
		(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)
	Médio	82%	68%	50%	32%	18%
		(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)
	Baixo	92%	82%	68%	50%	32%
		(Zona II)	(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)
Grau de confiança na conformidade	Muito	98%	92%	82%	68%	50%
	Baixo	(Zona I)	(Zona II)	(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)

Fonte: Produção do próprio autor.

Com base nas considerações sobre o diagrama CREI × DTC e os cálculos apresentados até o momento, pode-se extrapolar a quantidade de atributos relativos ao grau de confiança na conformidade, assim como as zonas de incerteza de acordo com a Equação (6).

$$Quant_{zonas} = 2 \times Quant_{graus\ conf.} - 1 \quad (6)$$

Onde:

$Quant_{zonas}$ = quantidade de zonas de incertezas formadas no diagrama CREI × DTC;

$Quant_{graus\ conf.}$ = quantidade de atributos para o grau de confiança na conformidade (DTC).

Por exemplo, a escolha de sete atributos para definição do grau de confiança na conformidade originaria treze zonas no diagrama ($2 \times 7 - 1 = 13$). Neste caso específico os sete

atributos poderiam ser: extremamente baixo, muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto e extremamente alto. Com base na premissa de simetria do diagrama, cada um dos quarenta e nove segmentos formados seria um quadrado de lado 0,1428 u.l. e área igual a 0,0204 u.a. Da mesma forma como nas situações precedentes, é possível definir a recomendação quantitativa em termos de dupla inspeção a ser efetuada considerando as zonas formadas no diagrama, variando do cenário mais pessimista (zona I com 99% de dupla inspeção) até o cenário mais otimista (zona XIII com 1% de dupla inspeção) conforme indicado na Tabela 8. Uma vez mais, a zona intermediária (zona VII) apresenta uma recomendação de 50% de dupla inspeção.

Tabela 8 – Cálculos considerando 7 graus de confiança na conformidade e 13 zonas de incerteza

Análise Combinada das Variáveis CREI e DTC				
7 graus de confiança na conformidade (extremamente baixo, muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto, extremamente alto) e 9 zonas de incerteza (I a XIII)				
Zona	Área da Zona (u.a.)	Área complementar (área total menos áreas das zonas anteriores)	Zona de Incerteza (metade da área da zona mais área complementar)	Recomendação em termos de porcentagem mínima de dupla inspeção
I	0,0204... (1×0,0204)	0,9795... (1 - 0,0204)	0,9897... (0,0204/2 + 0,9796)	99%
II	0,0408...	0,9387...	0,9591...	96%
III	0,0612...	0,8775...	0,9081...	91%
IV	0,0816...	0,7959...	0,8367...	84%
V	0,1020...	0,6938...	0,7448...	74,5%
VI	0,1224...	0,5714...	0,6326...	63%
VII	0,1428... (7×0,0204)	0,4285... (1 - 0,0204 - 0,0408 - 0,0612 - 0,0816 - 0,1020 - 0,1224 - 0,1428)	0,5000 (0,1428/2 + 0,4286)	50%
VIII	0,1224...	0,3061...	0,3673...	37%
IX	0,1020...	0,2040...	0,2551...	25,5%
X	0,0816...	0,1224...	0,1632...	16%
XI	0,0612...	0,0612...	0,0918...	9%
XII	0,0408...	0,0204...	0,0408...	4%
		0		
XIII	0,0204... (1×0,0204)	[1 - (2×0,0204) - (2×0,0408) - (2×0,0612) - (2×0,0816) - (2×0,1020) - (2×0,1224) - 0,1428]	0,0102... (0,0204/2 + 0)	1%

Fonte: Produção do próprio autor.

As sugestões quantitativas em relação ao percentual mínimo de dupla inspeção parcial definidas na Tabela 8 estão adequadamente combinadas na Tabela 9 na forma de uma matriz de decisão com sete graus de confiança na condição de conformidade (DTC) e sete intervalos no indicador de avaliação de registros de conformidade (CREI).

Tabela 9 – Matriz de decisão com 7 graus de confiança na condição de conformidade

Recomendações em termos de dupla inspeção		CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade)						
		0 – 0,14	0,14 – 0,29	0,29 – 0,43	0,43 – 0,57	0,57 – 0,71	0,71 – 0,86	0,86 – 1
DTC	Extrem.	50%	37%	25.5%	16%	9%	4%	1%
	Alto	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)	(Zona X)	(Zona XI)	(Zona XII)	(Zona XIII)
	Muito	63%	50%	37%	25,5%	16%	9%	4%
	Alto	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)	(Zona X)	(Zona XI)	(Zona XII)
	Alto	74,5%	63%	50%	37%	25,5%	16%	9%
		(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)	(Zona X)	(Zona XI)
	Médio	84%	74,5%	63%	50%	37%	25,5%	16%
		(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)	(Zona X)
	Baixo	91%	84%	74,5%	63%	50%	37%	25,5%
		(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)	(Zona IX)
Grau de confiança na conformidade	Muito	96%	91%	84%	74,5%	63%	50%	37%
	Baixo	(Zona II)	(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)	(Zona VIII)
	Extrem.	99%	96%	91%	84%	74,5%	63%	50%
	Baixo	(Zona I)	(Zona II)	(Zona III)	(Zona IV)	(Zona V)	(Zona VI)	(Zona VII)

Fonte: Produção do próprio autor.

É razoável supor que não seria muito útil em termos práticos a definição do grau de confiança na conformidade com mais de sete atributos, mesmo porque neste caso seriam mais de treze zonas de incerteza a serem analisadas no diagrama CREI $\times$ DTC. Assim sendo, os números inteiros ímpares 3, 5 e 7 destacam-se como as melhores opções operacionais para a definição da quantidade de atributos para o grau de confiança na conformidade (DTC). Além disso, considerando os primeiros exercícios teóricos e práticos decorrentes desta pesquisa, pode-se estabelecer a seguinte regra operacional em relação às matrizes de decisão:

- A matriz de decisão com três atributos para DTC (Tabela 5) é mais apropriada para as situações de avaliação de conformidade nas quais a quantidade de registros é relativamente pequena (por exemplo, menos de cem registros individuais);

- A matriz de decisão com cinco atributos para DTC (Tabela 7) é apropriada para as situações intermediárias (por exemplo, de cem a novecentos e noventa e nove registros individuais);
- A matriz de decisão com sete atributos para DTC (Tabela 9) é adequada para uma grande quantidade de registros (por exemplo, mil ou mais registros individuais).

As recomendações para duplas inspeções parciais baseadas nas zonas de incerteza do diagrama CREI $\times$ DTC são estritamente quantitativas, pois referem-se à quantidade percentual mínima em relação aos registros disponíveis e, conseqüentemente, não apresentam conotação qualitativa. De qualquer forma, qualquer recomendação para a realização de dupla inspeção parcial deverá ter como ponto de partida a avaliação quantitativa expressa por meio das matrizes de decisão (Tabelas 5, 7 e 9) para que, em um segundo momento a investigação qualitativa seja levada a efeito com base nos critérios mais adequados que podem ser, por exemplo, ranqueamento por julgamento técnico, operacional ou econômico, viabilidade física ou cronológica, seleção aleatória, bom senso, entre outros.

4.1.2 A Analogia Inspirada pelo Princípio da Incerteza

A divisão do conhecimento humano em várias disciplinas distintas é uma característica há muito tempo estabelecida e assimilada, mas nem sempre o saber foi estruturado desta forma.

Sob a denominação genérica de filosofia natural, os gregos antigos criariam uma ciência com o objetivo de estudar e compreender a natureza. Essa busca por uma compreensão do mundo físico abrangia um vasto campo, que englobava a Matemática, as ciências naturais e as ciências físicas (inclusive a Astronomia e a Meteorologia); ou seja, ao tempo dos filósofos pré-socráticos, os campos científicos e filosóficos se confundiam e se inter-relacionavam, ao ponto que os filósofos tanto se dedicavam a especulações filosóficas e metafísicas sobre a origem e a constituição do universo quanto aos números (Aritmética), áreas (Geometria) e elementos (Física e Química). Aristóteles, com seu *Organon*, seria o grande pensador grego, cuja imensa influência seria decisiva na evolução do pensamento científico ao criar a lógica formal. Com o passar dos tempos, as disciplinas científicas foram adquirindo complexidade e extensão, o que as separaria, gradualmente, do campo filosófico, reduzindo, assim, o papel da especulação, em benefício do trabalho baseado na experimentação e na verificação (ROSA, 2012, p. 100).

À primeira vista pode parecer incomum que o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica seja utilizado como ponto de partida para o estabelecimento de um procedimento relativo ao processo de avaliação de conformidade pertencente à disciplina Qualidade; contudo, como defendido pelo professor e geógrafo brasileiro Milton Santos (1926-2001), as diferentes disciplinas do conhecimento humano estão todas interligadas em essência:

O mundo é um só. Ele é visto através de um dado prisma, por uma dada disciplina, mas, para o conjunto de disciplinas, os materiais constitutivos são os mesmos. É isso, aliás, o que une as diversas disciplinas e o que para cada qual, deve garantir, como uma forma de controle, o critério da realidade total. Uma disciplina é uma parcela autônoma, mas não independente, do saber geral. É assim que se transcendem as realidades truncadas, as verdades parciais, mesmo sem a ambição de filosofar ou de teorizar (SANTOS, 2006, p. 11).

Conforme explanado no capítulo 2, o Princípio da Incerteza de Heisenberg gerou e continua gerando muita repercussão, não somente no âmbito da Física, mas também em outras áreas do conhecimento, com destaque para as diversas aplicações tecnológicas. No caso específico desta pesquisa de doutorado, não se trata da aplicação do formalismo matemático do referido princípio físico, mas da utilização de uma analogia inspirada pela correspondência entre alguns conceitos e interpretações da Mecânica Quântica com algumas características particulares do processo de avaliação de conformidade. Na realidade, o emprego de analogia é uma ótima estratégia para a construção de novos conhecimentos, pois conforme afirmado pelo filósofo e estadista britânico Francis Bacon (1561-1626), “não é, com efeito, empresa fácil transmitir e explicar o que pretendemos, porque as coisas novas são sempre compreendidas por analogia com as antigas” (BACON, 2002, p. 18).

A analogia estabelecida entre o Princípio da Incerteza e o processo de avaliação de conformidade é decorrente da observação geral de que durante as atividades operacionais de avaliação de conformidade, as discrepâncias entre as expectativas da abordagem inicial e as constatações reais emergem à medida que a investigação qualitativa se desenvolve. Analogamente, a escala extremamente pequena relativa ao Princípio da Incerteza corresponde à investigação qualitativa extremamente detalhada na avaliação de conformidade.

Para possibilitar uma correspondência adequada entre as disciplinas envolvidas nesta analogia ao longo da pesquisa, alguns novos conceitos foram estabelecidos para a avaliação de conformidade com inspiração em conceitos da Física. Deste modo, tendo em mente o conceito clássico de partícula (um dos componentes fundamentais da matéria), o conceito clássico de onda (distúrbio periódico em um meio ou no espaço) e reconhecendo a capital importância que os registros documentados desempenham no processo de avaliação de conformidade, os seguintes termos foram definidos:

- Registro-partícula ou *particle-like record* (PLR) é um registro individual que pode ser reinspecionado durante a avaliação de conformidade de primeira parte sem qualquer tipo de distúrbio ao objeto sob avaliação;

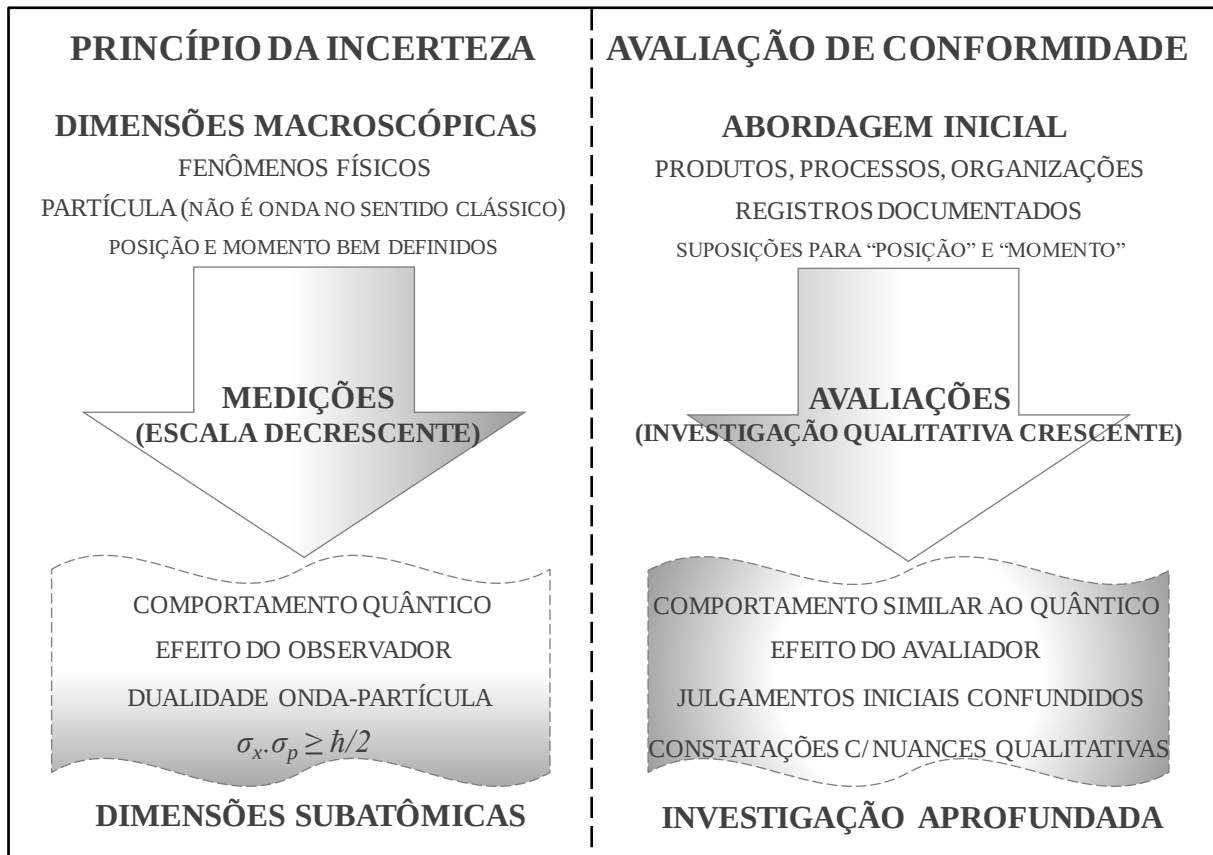
- Registro-onda ou *wave-like record* (WLR) é um registro individual que não possibilita dupla inspeção durante a avaliação de conformidade de primeira parte ou que quando reinspecionado causa algum nível relevante de distúrbio no objeto sob avaliação;
- Posição de um registro em avaliação de conformidade é a informação objetiva ou absoluta que pode ser adequadamente reinspecionada, por exemplo características observáveis em inspeção visual, medições em geral e testes simples;
- Momento de um registro em avaliação de conformidade é a informação disponível de forma subjetiva ou interpretativa e que não pode ser objetivamente reinspecionada, medida ou testada no curto prazo.

De acordo com tais definições, durante a abordagem inicial da avaliação de conformidade, um registro-partícula (PLR) aparenta possibilitar adequada dupla inspeção em sua posição e, neste caso, o seu momento não se mostra tão útil. Por outro lado, a execução de dupla inspeção na posição de um registro-onda (WLR) mostra-se muito difícil ou mesmo impossível, mas o seu momento pode ser relativamente útil. Esta abordagem inicial em avaliação de conformidade é comparável à interpretação convencional dos fenômenos macroscópicos dada pela Mecânica Clássica. Entretanto, à medida que a avaliação de conformidade avança e ocorre o aprofundamento da investigação qualitativa, o entendimento assumido durante a abordagem inicial pode não mais explicar a real condição do objeto em avaliação. Situação similar acontece quando a Mecânica Clássica falha ao tentar explicar os fenômenos físicos em escala subatômica.

As divergências entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica emergem à medida que a escala física diminui, isto é, o comportamento quântico, a dualidade onda-partícula e a influência do observador no processo de medição são compreensíveis em escalas extremamente diminutas. Da mesma forma, as discrepâncias entre a abordagem inicial e as constatações reais da avaliação de conformidade se acentuam à medida que a investigação qualitativa evolui, pois quando os fatores relevantes são verdadeiramente investigados, os julgamentos inicialmente estabelecidos podem ser confundidos pelas constatações que se apresentam e, além disso, a influência exercida pelo observador, neste caso o avaliador, não é desprezível e não pode ser ignorada (comportamento similar ao quântico).

Por meio de uma representação esquemática da analogia em questão (vide Figura 25) observa-se que a escala física extremamente pequena relativa ao Princípio da Incerteza corresponde à investigação qualitativa aprofundada no processo de avaliação de conformidade.

Figura 25– Esboço da analogia entre Princípio da Incerteza e avaliação de conformidade



Fonte: Produção do próprio autor.

Uma análise da representação esquemática da Figura 25, indica que partículas e registros individuais são elementos análogos nesta comparação conceitual:

- Partículas possuem posição (x) e momento (p), ao passo que registros individuais também possuem posição (informação objetiva a ser reinspecionada) e momento (informação subjetiva ou interpretativa);
- Posição e momento de partículas são bem definidos em escalas macroscópicas, mas não podem ser mutuamente medidos com precisão absoluta em escalas subatômicas, ao passo que as suposições acerca de posição e momento de registros individuais durante a abordagem inicial podem ser confundidas devido às nuances qualitativas das constatações posteriores;
- A dualidade onda-partícula relativa à escala física subatômica pode ser associada a possíveis mudanças em julgamentos e interpretações à medida que a investigação qualitativa avança no processo de avaliação de conformidade;
- O efeito do observador devido ao comportamento quântico em escalas subatômicas pode ser comparado ao impacto causado por um avaliador qualificado durante as

verificações qualitativas aprofundadas, ou seja, durante a avaliação de conformidade também existe um efeito do avaliador causado por sua particular interpretação qualitativa das constatações;

- Tais peculiaridades sugerem que eventualmente o ambiente que envolve o processo de avaliação de conformidade pode apresentar um comportamento similar ao quântico.

A analogia conceitual entre o Princípio da Incerteza e o processo de avaliação de conformidade é resumidamente apresentada no Quadro 16 por meio de cinco tópicos.

Quadro 16 – Resumo da analogia “Princípio da Incerteza/avaliação de conformidade”

TÓPICO	PRINCÍPIO DA INCERTEZA	AValiação DE CONFORMIDADE
FACT (fato)	Medição das variáveis conjugadas posição (x) e momento (p).	Determinação do cumprimento de requisitos especificados.
CONTEXT (contexto)	Fenômenos físicos em escala subatômica.	Produtos, processos, sistemas, pessoas ou organizações.
ACTIONS (ações)	Experimentos avançados em laboratório baseados em postulados específicos e formalismo matemático.	Inspeção, amostragem, testes, avaliação do sistema da qualidade e auditoria (duplas inspeções também incluídas).
UNDERSTANDING (entendimento)	Posição (x) e momento (p) são variáveis canonicamente conjugadas. Quanto mais precisamente uma é definida, menos precisamente é a outra, de acordo com a equação $\sigma_x \cdot \sigma_p \geq \hbar/2$.	Registros reinspecionados durante a avaliação de conformidade possuem também “posição” (informação objetiva) e “momento” (informação subjetiva) e, à medida que a investigação aprofundada evolui durante a execução da avaliação de conformidade, o julgamento inicial pode ser confundido devido às nuances qualitativas das constatações (comportamento similar ao quântico).
PARADIGM (paradigma)	O Princípio da Incerteza é, de fato, relacionado à dualidade onda-partícula. Além disso, o processo experimental em si interfere no resultado das medições devido ao comportamento quântico.	Há alguma incerteza durante a execução da avaliação de conformidade causada pelo comportamento similar ao quântico e o resultado da avaliação também é influenciado pelo observador (avaliador). Os limites nos quais a incerteza não degrada o resultado da avaliação de conformidade podem ser estabelecidos mediante compensação qualitativa.

Fonte: Produção do próprio autor.

Observa-se que o acrônimo FCAUP, que significa *Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*, também está associado às primeiras letras dos cinco tópicos, em língua inglesa, referentes à analogia resumida no Quadro 16 (*Fact, Context, Actions, Understanding, Paradim*).

Todavia, é importante reiterar que o propósito desta pesquisa não é demonstrar que há uma conexão matemática entre os postulados do Princípio da Incerteza e todas as características do processo de avaliação de conformidade. Diferentemente, a ideia básica é indicar que o entendimento da existência de uma analogia conceitual satisfatoriamente consistente entre ambos pode ser útil para o estabelecimento de atividades estruturadas que apoiem e simplifiquem a realização da avaliação de conformidade, especialmente em indústrias manufatureiras e laboratórios de ensaios.

4.1.3 Descrição do Procedimento FCAUP

FCAUP (*Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*) é um procedimento original para realização de avaliação de conformidade que foi desenvolvido durante esta pesquisa com base em uma analogia conceitual com o Princípio da Incerteza, já detalhada na subseção anterior. Basicamente, o procedimento é um desdobramento estruturado das funções seleção, determinação, análise crítica e atestação da avaliação de conformidade definidas na norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 e é dividido em cinco etapas:

- 1ª Etapa (F) – *Foreword Stage* (Prólogo);
- 2ª Etapa (C) – *Classification Stage* (Classificação);
- 3ª Etapa (A) – *Arrangement Stage* (Arranjo);
- 4ª Etapa (U) – *Uncovering Stage* (Revelação);
- 5ª Etapa (P) – *Paperwork Stage* (Formalização)

Em outras palavras, a norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 define o que é necessário ser feito em termos de avaliação de conformidade e o procedimento FCAUP apresenta uma nova e estruturada maneira de efetuar as atividades requeridas. O acrônimo FCAUP também está associado às primeiras letras das cinco etapas escritas no idioma inglês (*Foreword Stage, Classification Stage, Arrangement Stage, Uncovering Stage, Paperwork Stage*). As etapas, principais atividades e instruções básicas do procedimento FCAUP estão agrupadas de acordo com as respectivas funções da norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005 no Quadro 17. Além disso, uma visão geral do procedimento na forma de fluxograma é mostrada na Figura 26.

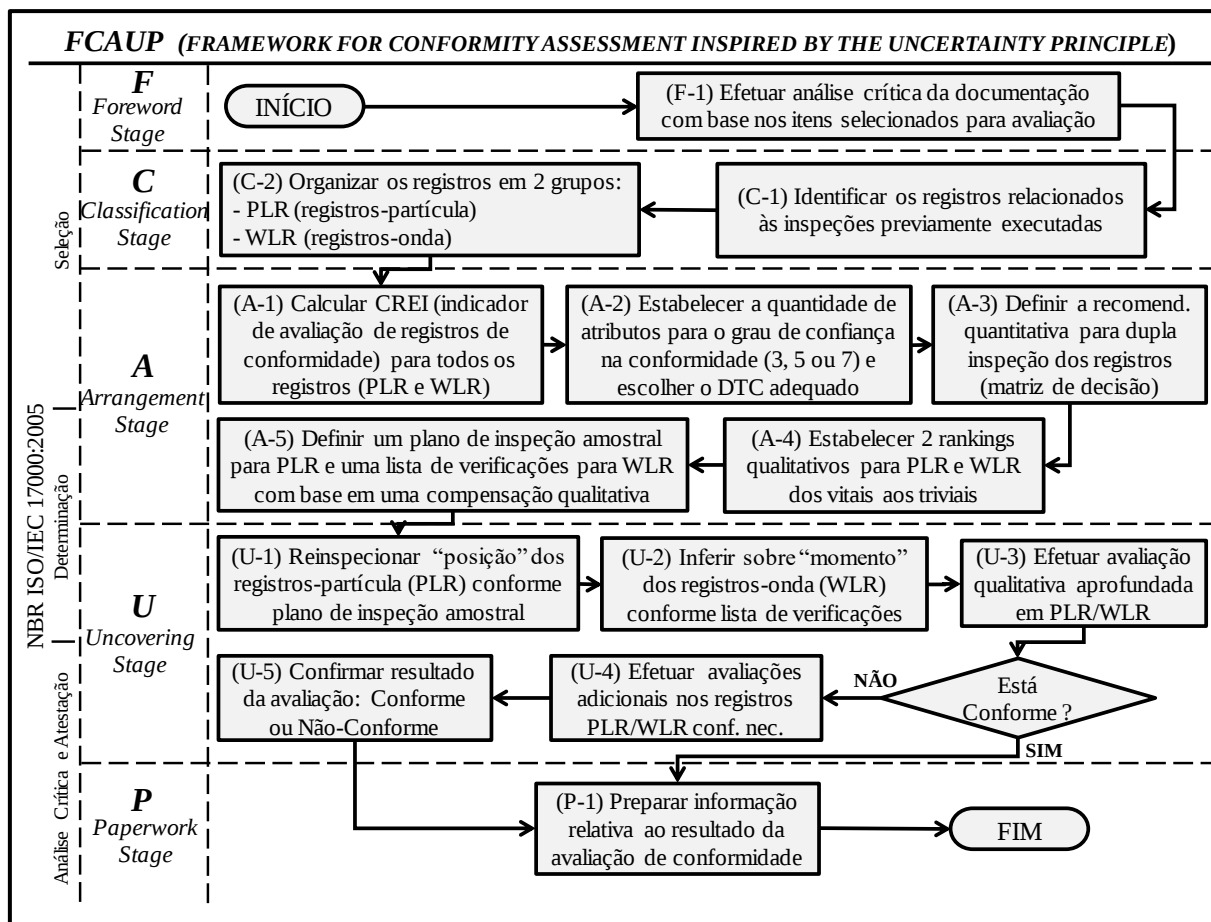
Quadro 17 – Resumo do procedimento FCAUP

ETAPA FCAUP	NBR ISO/IEC 17000:2005	PRINCIPAIS ATIVIDADES E INSTRUÇÕES	
(F) Foreword Stage (Prólogo)	Seleção	(F-1) Efetuar análise completa dos registros documentados com base nos itens selecionados para a avaliação de conformidade.	
(C) Classification Stage (Classificação)		(C-1) Identificar os registros individuais relacionados às inspeções previamente realizadas.	
		(C-2) Organizar os registros individuais em 2 grupos: - Registros-partícula (PLR); - Registros-onda (WLR).	
(A) Arrangement Stage (Arranjo)		(A-1) Calcular CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade) para todos os registros (PLR e WLR).	
		(A-2) Estabelecer a quantidade de atributos para o grau de confiança na conformidade (3, 5 ou 7) a partir da quantidade de registros e escolher o grau de confiança (DTC) adequado.	
		(A-3) Definir a recomendação quantitativa para dupla inspeção nos registros PLR/WLR com base na matriz de decisão correspondente.	
(U) Uncovering Stage (Revelação)		Determinação	(A-4) Estabelecer 2 rankings qualitativos para PLR e WLR dos vitais aos triviais.
			(A-5) Definir um plano de inspeção amostral para PLR e uma lista de verificações para WLR com base em uma compensação qualitativa.
			(U-1) Reinspecionar “posição” dos registros-partícula (PLR) conforme plano de inspeção amostral.
(P) Paperwork Stage (Formalização)		Análise Crítica e Atestação	(U-2) Inferir sobre “momento” dos registros-onda (WLR) conforme lista de verificações.
	(U-3) Efetuar avaliação aprofundada e qualitativa PLR/WLR.		
	(U-4) Efetuar avaliações adicionais nos registros PLR/WLR conforme necessidade.		
		(U-5) Confirmar resultado da avaliação: conforme ou não-conforme.	
		(P-1) Preparar informação relativa ao resultado da avaliação de conformidade.	

Fonte: Produção do próprio autor.

Os registros documentados a serem analisados no caso de indústrias e laboratórios podem incluir: relatórios de inspeção, relatórios dimensionais, relatórios de testes ou ensaios, registros de *check-lists* de qualidade, relatórios de concessão ou *waiver*, ordens de produção entre outros.

Figura 26 – Fluxograma do procedimento FCAUP



Fonte: Produção do próprio autor.

O cumprimento das etapas do procedimento FCAUP durante a avaliação de conformidade pode ser agilizado com o emprego de planilhas operacionais para auxiliar o avaliador na execução dos cálculos e das instruções, assim como na interpretação das matrizes de decisão. No Apêndice A é indicado acesso para consulta aos exemplos de planilhas operacionais armazenadas em nuvem da *internet*. A preparação de uma planilha operacional adequada ao uso em indústrias e laboratórios admite os mais diferentes formatos e configurações, mas considerando as aplicações práticas realizadas durante esta pesquisa, é importante destacar ao menos dois modelos de abas de planilha que já foram testados em situações reais.

Um destes modelos é relacionado aos cálculos definidos na terceira etapa do procedimento (*Arrangement Stage*) e foi elaborado de modo a automatizar os cálculos e interpretações (vide Figura 27). Considerando as principais atividades e as instruções da terceira etapa, o avaliador deverá inserir nas células apropriadas a quantidade de registros-partícula (PLR), a quantidade de registros-onda (WLR) identificados durante a análise crítica dos registros disponíveis (*Foreword Stage*) e inserir a quantidade real de registros individuais

avaliados detalhadamente. Automaticamente três saídas serão mostradas em células específicas: CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade), DTC Qty (quantidade de atributos para o grau de confiança na condição de conformidade) e a correspondente matriz de decisão.

Figura 27 – Aba “calculations” de uma planilha operacional (modelo)

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)										FCAUP	
ITEM UNDER ASSESSMENT:					COMPANY:						
ASSESSOR'S NAME:					DATE:						
PLR Qty									Input the amount of particle-like records based on documentation review		
WLR Qty									Input the amount of wave-like records based on documentation review		
Evaluated Records Qty									Input the actual amount of individual records evaluated in detail		
CRE		#DIV/0!	(formula)						CRE = (Qty evaluated) divided by (Qty total)		
DTC Qty		3	(formula)						DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)		
Decision Matrix		Table 1							Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)		
DTC									Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information		
Uncertainty Zone		#DIV/0!							(formula) As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)		
Quantitative Recommendation (% Double Insp)		#DIV/0!							(formula) As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)		
Amount of PLR's to be double-checked (position)		#DIV/0!							(formula) Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)		
Amount of WLR's to be revisited (momentum)		#DIV/0!							(formula) Amount to be included in verification list (regarding momentum)		

Fonte: Produção do próprio autor.

Em seguida o avaliador deverá selecionar uma das opções pré-definidas relativas ao grau de confiança na condição de conformidade (DTC) usando a célula adequada correspondente à matriz de decisão mostrada no passo anterior. Tal seleção é subjetiva e baseada em julgamento de acordo com a percepção pessoal acerca do objeto em avaliação. Feito isso, automaticamente quatro saídas serão mostradas em células específicas: a zona de incerteza (em referência à matriz de decisão correspondente), a recomendação quantitativa em termos de percentual de duplas inspeções parciais, a quantidade de registros-partícula (PLR) a serem reinspecionados (dupla inspeção da posição dos registros) e a quantidade de registros-onda (WLR) a serem revisitados (inferências em relação ao momento dos registros).

Um outro modelo de aba de uma planilha operacional refere-se ao resumo e conclusão da avaliação de conformidade conforme indicado na Figura 28. Esta aba é útil pois, a partir das instruções e critérios nela estabelecidos, o avaliador pode incluir o plano de inspeção amostral para os registros-partícula (PLR), a lista de verificações dos registros-onda (WLR) e os correspondentes resultados parciais. Também existem campos específicos para inclusão de assinatura do avaliador, da data e do resultado. Pelo menos cinco critérios orientam o avaliador na definição qualitativa dos registros individuais que serão reinspecionados ou revisitados, sendo o critério nº 1 comum aos registros PLR e WLR, os critérios nº 2 e nº 3 específicos para os registros PLR e, por fim, os critérios nº 4 e nº 5 específicos para os registros WLR. Estes critérios foram estabelecidos exclusivamente com base nas definições de registro-partícula e

registro-onda inspiradas nos conceitos da Física, mas outros critérios também poderiam ser incluídos de acordo com as situações específicas associadas a cada avaliação de conformidade. Uma lista com os critérios mínimos para a seleção qualitativa é apresentada no Quadro 18.

Figura 28 – Aba “summary and conclusion” de uma planilha operacional (modelo)

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION								FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT:		COMPANY:		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)				
ASSESSOR'S NAME:		CREI:	DTC:	PLR:	WLR:			
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.		Is the individual record indeed representative of the whole item in terms of function, fit or form?	Is the individual record specific and does it allow objective double inspection on its "position"?	Is it possible to carry out double inspection on "position" of the individual record in short term?	Is the individual record specific and does it allow inferences on "momentum" based on available information?	Is it possible to make assertive inferences on "momentum" of the individual record in short term?	The final result of the conformity assessment shall be stated as CONFORM only if all listed individual records are found conform (both PLR and WLR).	
#	PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT	
1					N/A	N/A		
2					N/A	N/A		
3					N/A	N/A		
4					N/A	N/A		
5					N/A	N/A		
6					N/A	N/A		
7					N/A	N/A		
8					N/A	N/A		
9					N/A	N/A		
10					N/A	N/A		
#	WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT	
1			N/A	N/A				
2			N/A	N/A				
3			N/A	N/A				
4			N/A	N/A				
5			N/A	N/A				
6			N/A	N/A				
7			N/A	N/A				
8			N/A	N/A				
9			N/A	N/A				
10			N/A	N/A				
ASSESSOR'S SIGNATURE: _____		DATE: _____				FINAL RESULT: _____		

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 18 – Lista de critérios mínimos para definição qualitativa de registros individuais

Nº	CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO QUALITATIVA DE REGISTROS	PLR	WLR
1	Verificar se o registro individual é representativo do item em avaliação como um todo.	Aplicável	Aplicável
2	Confirmar se o registro individual é específico e permite dupla inspeção em sua “posição”.	Aplicável	Não aplicável
3	Confirmar se a dupla inspeção do registro individual pode ser realizada em um intervalo de tempo condizente com o período da avaliação de conformidade.	Aplicável	Não aplicável
4	Confirmar se o registro individual é específico e permite inferência sobre seu “momento” com base em informação disponível.	Não aplicável	Aplicável
5	Confirmar se é possível efetuar inferências assertivas sobre o registro individual em um intervalo de tempo condizente com o período da avaliação de conformidade.	Não aplicável	Aplicável

Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS

4.2.1 Verificação Preliminar do Procedimento FCAUP

A fim de efetuar uma verificação preliminar acerca da real utilidade do procedimento FCAUP, algumas avaliações de conformidade previamente realizadas foram analisadas criticamente com base nos registros reais de conformidade disponíveis, mas também levando em consideração as instruções, os cálculos e as interpretações sugeridas pelo novo procedimento. O acesso aos registros reais de conformidade foi possível pois este pesquisador atuou profissionalmente por alguns anos em processos de avaliação de conformidade em indústrias e laboratórios. Foram selecionados três casos reais de avaliação de conformidade de terceira parte a partir de situações ocorridas em empresas diferentes e em momentos distintos:

- Liberação final de um equipamento eletroeletrônico fabricado em uma empresa com codinome A para utilização em ensaios de certificação de produto;
- Liberação final de um equipamento hidromecânico fabricado em uma empresa com codinome B para utilização em ensaios de certificação de produto;
- Liberação final da configuração de uma instalação para ensaios estruturais de certificação de produto em uma empresa com codinome C.

Os nomes das empresas, as localizações geográficas e os detalhes dos produtos foram intencionalmente omitidos para garantir a manutenção da confidencialidade dos dados envolvidos. As avaliações de conformidade em questão haviam sido realizadas anteriormente sem o emprego do procedimento FCAUP e foram concluídas em dez. 2013 na empresa A, em mar. 2014 na empresa B e em jul. 2015 na empresa C.

Durante as avaliações de conformidade de terceira parte efetivamente realizadas em tais empresas, foi considerada a abordagem 3 (dupla inspeção parcial) com aproximadamente 50% de duplas inspeções em relação aos registros disponíveis na empresa A, em torno de 75% de duplas inspeções na empresa B e por volta de 30% na empresa C. Tais percentuais não haviam sido definidos *a priori* na época da realização das avaliações de conformidade, pois os mesmos resultaram de práticas exclusivamente empíricas, sem critérios pré-estabelecidos e com base na viabilidade operacional que se impunha em cada uma das situações. O cálculo aproximado destes percentuais foi efetuado durante a presente análise teórica a partir de um exame detalhado dos registros efetivamente reinspecionados. Exemplos dos registros reais referentes às empresas A, B e C estão parcialmente disponíveis, respectivamente, como Anexos A, B e C.

A crítica teórica ao procedimento FCAUP foi efetuada por meio de releitura completa de todos os registros reais que foram coletados durante as três avaliações de conformidade previamente conduzidas, sendo 42 registros individuais do equipamento eletroeletrônico da empresa A, 48 registros individuais do equipamento hidromecânico da empresa B e 145 registros individuais da instalação para ensaios da empresa C. As três releituras foram efetuadas segundo as instruções descritas nas cinco etapas do procedimento FCAUP e com auxílio de planilhas operacionais (vide Apêndice A). Os resultados dos cálculos relativos às “releituras FCAUP” dos registros das empresas A, B e C efetuados por meio de planilhas operacionais são apresentados nas Figuras 29, 30 e 31.

Figura 29 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa A)

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)						FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Equipamento Eletroeletrônico				COMPANY: Empresa "A"		
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes				DATE: Abril/2017		
	PLR Qty	34	←			Input the amount of particle-like records based on documentation review
	WLR Qty	8	←			Input the amount of wave-like records based on documentation review
	Evaluated Records Qty	42	←			Input the actual amount of individual records evaluated in detail
	CRE	1	(formula)			CRE = (Qty evaluated) divided by (Qty total)
	DTC Qty	3	(formula)			DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)
	Decision Matrix	Table 1		(formula)		Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)
	DTC	medium	←			Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information
	Uncertainty Zone	IV		(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)
	Quantitative Recommendation (% Double Insp)	22%		(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)
	Amount of PLR's to be double-checked (position)	8		(formula)		Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)
	Amount of WLR's to be revisited (momentum)	2		(formula)		Amount to be included in verification list (regarding momentum)

Fonte: Produção do próprio autor.

Por meio das releituras, todos os registros individuais foram reavaliados de modo a serem classificados como registros-partícula (PLR) ou registros-onda (WLR) e, portanto, o valor calculado para CREI nos três casos foi igual a 1. A seguir são listados alguns exemplos de registros individuais que foram classificados como registros-partícula (PLR) por envolverem duplas inspeções viáveis e com mínimo ou nenhum impacto nas condições gerais dos itens sob avaliação:

- Registros das dimensões básicas dos produtos das empresas A, B e C;
- Registro do peso total dos produtos das empresas A e B;
- Registros do teste de resistência elétrica dos produtos das empresas A e B;
- Registros de verificação quanto a danos externos dos produtos das empresas A e B;
- Registros de torque de aperto nos prendedores de fixação do dispositivo de ensaio estrutural da empresa C.

Também são listados alguns exemplos de registros individuais que foram classificados como registros-onda (WLR) por envolverem duplas inspeções inviáveis ou com impacto relevante nas condições gerais dos itens sob avaliação:

- Registros do teste completo de hardware do produto da empresa A;
- Registros do teste completo de software dos produtos das empresas A e B;
- Registros do teste de vazamento hidráulico sob alta pressão do produto da empresa B;
- Registros do teste de vazamento hidráulico após 24 horas do produto da empresa B;
- Registros da inspeção tridimensional do dispositivo de ensaio estrutural da empresa C.

Figura 30 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa B)

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)						FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Equipamento Hidromecânico			COMPANY: Empresa "B"			
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes			DATE: Abril/2017			
PLR Qty	36	←	Input the amount of particle-like records based on documentation review			
WLR Qty	12	←	Input the amount of wave-like records based on documentation review			
Evaluated Records Qty	48	←	Input the actual amount of individual records evaluated in detail			
CREI	1	(formula)	CREI = (Qty evaluated) divided by (Qty total)			
DTC Qty	3	(formula)	DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)			
Decision Matrix	Table 1	(formula)	Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)			
DTC	low	←	Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information			
Uncertainty Zone	III	(formula)	As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)			
Quantitative Recommendation (% Double Insp)	50%	(formula)	As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)			
Amount of PLR's to be double-checked (position)	18	(formula)	Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)			
Amount of WLR's to be revisited (momentum)	6	(formula)	Amount to be included in verification list (regarding momentum)			

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Cálculos da releitura de registros da avaliação de conformidade (empresa C)

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)						FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Instalação para Ensaios de Certificação				COMPANY: Empresa "C"		
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes				DATE: Abril/2017		
	PLR Qty	25	←			Input the amount of particle-like records based on documentation review
	WLR Qty	120	←			Input the amount of wave-like records based on documentation review
	Evaluated Records Qty	145	←			Input the actual amount of individual records evaluated in detail
	CREI	1	(formula)			CREI = (Qty evaluated) divided by (Qty total)
	DTC Qty	5	(formula)			DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)
	Decision Matrix	Table 2		(formula)		Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)
	DTC	high	←			Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information
	Uncertainty Zone	VIII		(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)
	Quantitative Recommendation (% Double Insp)	8%		(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)
	Amount of PLR's to be double-checked (position)	2		(formula)		Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)
	Amount of WLR's to be revisited (momentum)	10		(formula)		Amount to be included in verification list (regarding momentum)

Fonte: Produção do próprio autor.

Em continuidade às releituras, após a inclusão das quantidades de registros individuais (PLR+WLR) foram definidos os graus de confiança na conformidade (DTC) para as empresas A, B e C, sendo que os atributos adotados refletiram a verdadeira percepção inicial do avaliador em cada uma das três situações reais ocorridas anteriormente. A partir dos dados incluídos nas

células das planilhas, as recomendações para as duplas inspeções nas posições dos registros e para as verificações nos momentos dos registros foram automaticamente definidas, uma vez que os cálculos das matrizes de decisão correspondentes estão embutidos em fórmulas das planilhas conforme indicado nas Figuras 29, 30 e 31.

Durante a realização das “releituras FCAUP” as duplas inspeções e as verificações recomendadas pelo procedimento não foram efetivamente realizadas dado que os produtos em questão não estavam mais disponíveis. Entretanto, por meio deste exercício teórico pode-se estipular quais seriam essas duplas inspeções e verificações com base nos critérios mínimos para seleção qualitativa dos registros individuais estabelecidos no Quadro 18 da seção anterior. Desta forma, pode-se inferir se as duplas inspeções e verificações selecionadas seriam suficientes para a constatação da condição de conformidade (ou não conformidade) dos produtos sob avaliação. O resultado desta análise teórica levou ao mesmo resultado das avaliações de conformidade reais, sendo que nos três casos foi declarada a conformidade dos produtos. Os resumos e os resultados das releituras efetuadas em relação aos registros individuais das empresas A, B e C são mostrados, respectivamente, nas Figuras 32, 33 e 34.

Figura 32 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa A

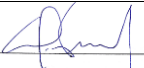
FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION							FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Equipamento Eletroeletrônico		COMPANY: Empresa "A"		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)			
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes		CREI: 1	DTC: Médio	PLR: 8	WLR: 2		
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.		Is the individual record indeed representative of the whole item in terms of function, fit or form?	Is the individual record specific and does it allow objective double inspection on its "position"?	Is it possible to carry out double inspection on "position" of the individual record in short term?	Is the individual record specific and does it allow inferences on "momentum" based on available information?	Is it possible to make assertive inferences on "momentum" of the individual record in short term?	The final result of the conformity assessment shall be stated as CONFORM only if all listed individual records are found conform (both PLR and WLR).
#	PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT
1	Inspeção visual quanto à identificação do equipamento (identification plate)	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
2	Inspeção visual quanto a marcas e danos na parte externa do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
3	Dimensões básicas do equipamento (inclusive interfaces instalativas)	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
4	Peso do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
5	Teste de isolamento elétrica do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
6	Teste de metalização no ponto "X1" do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
7	Teste de metalização no ponto "X2" do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
8	Teste de metalização no ponto "X3" do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM
9					N/A	N/A	
10					N/A	N/A	
#	WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT
1	Ponto específico do teste completo de hardware do equipamento	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM
2	Ponto específico do teste completo de software do equipamento	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM
3			N/A	N/A			
4			N/A	N/A			
ASSESSOR'S SIGNATURE: 		DATE: Abril/2017		FINAL RESULT:		CONFORM	

Fonte: Produção do próprio autor.

O Quadro 19 apresenta um sumário comparativo entre os principais dados das avaliações de conformidade efetivamente realizadas nas empresas A, B e C em dez. 2013, mar. 2014 e jul. 2015, respectivamente, e os dados provenientes das releituras efetuadas em abr. 2017 a partir dos registros individuais referentes aos produtos considerando os cálculos, as instruções e as

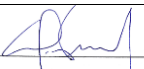
interpretações do procedimento FCAUP. As planilhas operacionais correspondentes podem ser consultadas por meio do *link* indicado no Apêndice A.

Figura 33 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa B

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION							FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Equipamento Hidromecânico	COMPANY: Empresa "B"		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)				
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes	CREI: 1	DTC: Baixo	PLR: 18	WLR: 6			
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.							
	Is the individual record indeed representative of the whole item in terms of function, fit or form?	Is the individual record specific and does it allow objective double inspection on its "position"?	Is it possible to carry out double inspection on "position" of the individual record in short term?	Is the individual record specific and does it allow inferences on "momentum" based on available information?	Is it possible to make assertive inferences on "momentum" of the individual record in short term?		The final result of the conformity assessment shall be stated as CONFORM only if all listed individual records are found conform (both PLR and WLR).
# PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT	
1 Inspeção visual quanto à identificação do equipamento (identification plate)	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
2 Inspeção visual quanto à correta identificação do módulo de controle	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
3 Inspeção visual quanto a marcas e danos na parte externa do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
4 Inspeção visual quanto à frenagem dos prendedores externos	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
5 Inspeção visual quanto ao lacre dos prendedores do módulo de controle	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
6 Inspeção visual quanto a vazamento hidráulico do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
7 Dimensões básicas do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
8 Dimensões básicas do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
9 Dimensões das interfaces instalativas do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
10 Peso do equipamento com fluido hidráulico	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
11 Torque rotacional da rótula (haste de fixação do equipamento)	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
12 Deslocamento radial da rótula (haste de fixação do equipamento)	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
13 Teste de isolamento elétrica do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
14 Teste de metalização no ponto "X1" do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
15 Teste de metalização no ponto "X2" do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
16 Teste de metalização no ponto "X3" do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
17 Teste de metalização no ponto "X4" do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
18 Teste de metalização no ponto "X5" do módulo de controle do equipamento	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
19				N/A	N/A		
20				N/A	N/A		
# WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT	
1 Peso do equipamento sem fluido hidráulico	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
2 Ponto específico do teste de funcionamento do acumulador hidráulico	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
3 Ponto específico do teste de funcionamento dos atuadores hidráulicos	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
4 Ponto específico do teste de vazamento hidráulico sob pressão	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
5 Verificação quanto a vazamento hidráulico após 24 horas	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
6 Ponto específico do teste completo do software do módulo de controle	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
7		N/A	N/A				
8		N/A	N/A				
ASSESSOR'S SIGNATURE: 							
DATE: Abril/2017		FINAL RESULT: CONFORM					

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 34 – Resumo da “Releitura FCAUP” em relação aos registros da empresa C

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION							FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Instalação para Ensaios de Certificação	COMPANY: Empresa "C"		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)				
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes	CREI: 1	DTC: Alto	PLR: 2	WLR: 10			
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.							
	Is the individual record indeed representative of the whole item in terms of function, fit or form?	Is the individual record specific and does it allow objective double inspection on its "position"?	Is it possible to carry out double inspection on "position" of the individual record in short term?	Is the individual record specific and does it allow inferences on "momentum" based on available information?	Is it possible to make assertive inferences on "momentum" of the individual record in short term?		The final result of the conformity assessment shall be stated as CONFORM only if all listed individual records are found conform (both PLR and WLR).
# PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT	
1 Inspeção visual quanto à correta identificação/calibração dos sensores	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
2 Torque dos prendedores de fixação do dispositivo de ensaio	YES	YES	YES	N/A	N/A	CONFORM	
3				N/A	N/A		
4				N/A	N/A		
# WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT	
1 Características funcionais da câmara de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
2 Coordenada "X1" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
3 Coordenada "X2" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
4 Coordenada "X3" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
5 Coordenada "X4" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
6 Coordenada "X5" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
7 Coordenada "X6" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
8 Coordenada "X7" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
9 Coordenada "X8" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
10 Coordenada "X9" da medição tridimensional do dispositivo de ensaio	YES	N/A	N/A	YES	YES	CONFORM	
11		N/A	N/A				
12		N/A	N/A				
ASSESSOR'S SIGNATURE: 							
DATE: Abril/2017		FINAL RESULT: CONFORM					

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 19 – Sumário da verificação preliminar do procedimento FCAUP

DADOS DA ANÁLISE COMPARATIVA	EMPRESA AVALIADA		
AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE REAL	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C
<i>Item sob avaliação</i>	<i>Equipamento Eletroeletrônico</i>	<i>Equipamento Hidromecânico</i>	<i>Instalação para Ensaios</i>
<i>Data de realização da avaliação de conformidade</i>	<i>Dez. 2013</i>	<i>Mar. 2014</i>	<i>Jul. 2015</i>
<i>Quantidade total de registros individuais de conformidade disponíveis</i>	42	48	145
<i>Percentual de duplas inspeções efetivamente realizadas em relação aos registros disponíveis (aproximação)</i>	50%	75%	30%
<i>Resultado oficial da avaliação de conformidade</i>	<i>Conformidade atestada</i>	<i>Conformidade atestada</i>	<i>Conformidade atestada</i>
RELEITURA DOS REGISTROS DE CONFORMIDADE	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C
<i>Data de “releitura FCAUP” dos registros de conformidade e realização de comparações</i>	<i>Abr. 2017</i>	<i>Abr. 2017</i>	<i>Abr. 2017</i>
<i>Quantidade de registros-partícula (PLR)</i>	34	36	25
<i>Quantidade de registros-onda (WLR)</i>	8	12	120
<i>Indicador de avaliação de registros de conformidade (CREI)</i>	1	1	1
<i>Grau de confiança na condição de conformidade (DTC)</i>	<i>Médio</i>	<i>Baixo</i>	<i>Alto</i>
<i>Zona de incerteza de acordo com a matriz de decisão correspondente (Tabela 5, 7 ou 9)</i>	<i>IV (ref. Tabela 5)</i>	<i>III (ref. Tabela 5)</i>	<i>VIII (ref. Tabela 7)</i>
<i>Recomendação (%) para realização de duplas inspeções e verificações de acordo com a matriz de decisão correspondente (Tabela 5, 7 ou 9)</i>	<i>22% (ref. Tabela 5)</i>	<i>50% (ref. Tabela 5)</i>	<i>8% (ref. Tabela 7)</i>
<i>Quantidade mínima de registros-partícula (PLR) a serem reinspecionados</i>	8	18	2
<i>Quantidade de registros-onda (WLR) a serem verificados</i>	2 (6)	6 (10)	10 (20)
<i>Resultado da “releitura FCAUP”</i>	<i>Conformidade confirmada</i>	<i>Conformidade confirmada</i>	<i>Conformidade confirmada</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

As quantidades de duplas inspeções para os registros-partícula (PLR) e verificações para os registros-onda (WLR) são sempre aproximadas para o próximo algarismo inteiro (as fórmulas embutidas nas planilhas operacionais já preveem tal situação). Os valores entre parênteses na recomendação de verificações para WLR indicam a quantidade total de registros

semelhantes que poderiam ser verificados considerando o mesmo tipo de inferência (seis registros-onda no caso da empresa A, dez no caso da empresa B e vinte no caso empresa C).

As releituras com base nos registros individuais dos produtos das empresas A, B e C levaram à mesma conclusão das avaliações de conformidade reais, visto que houve confirmação da condição de conformidade nos três casos. O uso do procedimento FCAUP demonstrou-se vantajoso pois resultados realistas foram obtidos de um modo mais bem estruturado e com menor quantidade de duplas inspeções. Isso pode ser constatado no Quadro 19, pois os percentuais de duplas inspeções necessárias para definir a condição de conformidade dos produtos foram menores do que as duplas inspeções efetivamente realizadas durante as avaliações de conformidade reais. Tal fato ocorre principalmente devido às seguintes características básicas das etapas relativas ao procedimento FCAUP:

- Exame completo dos registros de conformidade disponíveis;
- O grau de confiança na condição de conformidade é considerado;
- Todos os registros individuais são categorizados;
- A quantidade de duplas inspeções é sempre planejada *a priori*;
- Uso de amostragem não-probabilística (intencional) baseada em uma compensação qualitativa;
- Inspeções objetivas (posição do registro individual) são combinadas com inferências e verificações subjetivas (momento do registro individual);
- São efetuadas avaliações quantitativas e qualitativas em relação à conformidade;
- Há oportunidade para a realização de avaliações qualitativas adicionais em caso de incerteza remanescente antes da etapa de formalização.

Como informação adicional, especificamente em relação às avaliações reais executadas nas empresas A e B, notou-se uma mudança para melhor entre a percepção inicial do avaliador antes do início das atividades e o entendimento obtido devido às constatações advindas da investigação aprofundada. Por outro lado, não houve mudança acentuada de percepção durante a avaliação real na empresa C em termos de abordagem inicial comparada com as constatações qualitativas. Isso pode indicar que nem sempre um comportamento similar ao quântico se estabelece durante as atividades de avaliação de conformidade, mas tal possibilidade não deve ser ignorada, visto que tal comportamento ocorreu em dois dos três casos citados.

A analogia aqui apresentada entre o Princípio da Incerteza e a avaliação de conformidade, bem como a fundamentação teórica do procedimento FCAUP foram previamente divulgadas por meio de um artigo acadêmico publicado em 2018 (vide Apêndice B).

4.2.2 Resultados da Implementação Piloto do Procedimento FCAUP

4.2.2.1 Descrição da Empresa Boatmate Trailers

A implementação piloto do procedimento FCAUP foi realizada na Boatmate Trailers, LLC em Maryville, Tennessee, Estados Unidos da América. Boatmate Trailers é uma empresa privada, fundada em 1987, que projeta, fabrica e distribui reboques personalizados para diversos fabricantes de barcos dos EUA e de outros países. Atualmente, a Boatmate Trailers conta com aproximadamente cem funcionários trabalhando em turno único na fábrica de Maryville/TN, o que garante uma produção típica de 28 a 30 reboques por dia. Um exemplo de reboque para barco produzido pela empresa é mostrado na Figura 35.

Figura 35 – Exemplo de reboque fabricado pela Boatmate Trailers



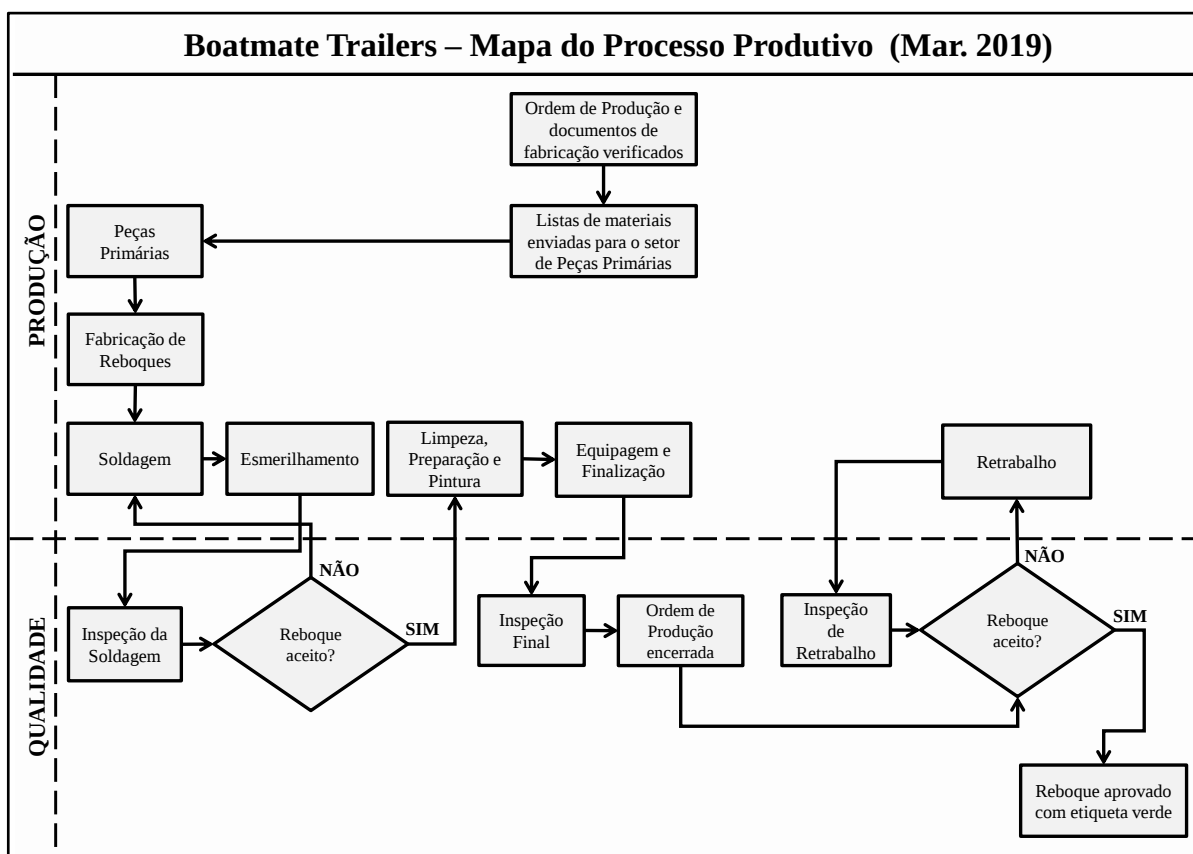
Fonte: Boatmate Trailers, LLC (2019).

De acordo com Smotherman e Kelley (2012), que realizaram um projeto acadêmico de padronização operacional na Boatmate Trailers, as principais atividades industriais da empresa são as seguintes (vide Figura 36):

- A planta recebe matérias-primas que são transformadas em produto acabado à medida que o reboque avança pelas estações de produção: peças primárias, soldagem, limpeza, preparação, pintura e equipagem;

- A partir do setor de peças primárias, vários componentes são montados e esses subconjuntos são repassados para o setor de soldagem onde a estrutura do reboque é concluída;
- Em seguida, e após a inspeção de soldagem, o reboque é suspenso em um sistema de monotrilha, onde passa pela área de preparação e entra na cabine de pintura;
- Após a realização da pintura, o setor de equipagem completa o reboque instalando pneus, luzes, adesivos personalizados e outros acessórios;
- O reboque acabado passa pela etapa de inspeção final, recebe a etiqueta verde e é liberado para o respectivo cliente.

Figura 36 – Mapa do processo produtivo da Boatmate Trailers



Fonte: Baseado em Boatmate Trailers, LLC (2019).

4.2.2.2 Implementação Piloto de FCAUP na Boatmate Trailers

Um reboque com etiqueta verde representado no mapa do processo produtivo (Figura 36) é um produto acabado, livre de defeitos ou peças ausentes, pronto para ser entregue ao cliente. Nesse ponto, o reboque está disponível para aceitação do revendedor, que pode incluir avaliações ou inspeções adicionais. Segundo Gookins (1999), o objetivo principal da inspeção

e teste é determinar se os produtos ou serviços estão em conformidade com as especificações e esse objetivo é frequentemente chamado de inspeção de aceitação e teste de aceitação. Como a avaliação da conformidade é a demonstração de que os requisitos especificados relacionados a um produto, processo, sistema, pessoa ou organismo são atendidos (ABNT, 2005a), então a inspeção de aceitação desse revendedor da Boatmate Trailers pode ser entendida como uma atividade específica de avaliação da conformidade.

De acordo com o pessoal da Boatmate Trailers já existia uma lista de verificações (*checklist*) de pré-entrega para aceitação do revendedor, idêntica à lista utilizada durante a inspeção final, compreendendo 27 verificações sobre as principais características de um reboque acabado, tais como parte dianteira do reboque, estrutura básica do reboque, degraus, paralamas, parte traseira do reboque e verificações de pintura. A referida *checklist* era geralmente oferecida aos revendedores, a fim de fornecer referências de inspeção de fabricação consistentes para as atividades de aceitação. Um resumo quantitativo dessa lista de verificações (*checklist*) é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo quantitativo da *checklist* existente para aceitação de reboques

Características Principais	Quantidade de Verificações
Parte dianteira do reboque	08
Estrutura básica do reboque	04
Degraus	05
Paralamas	05
Parte traseira do reboque	01
Verificações de pintura	04
TOTAL	27

Fonte: Produção do próprio autor.

A equipe de pesquisa, composta por este pesquisador e os inspetores da Boatmate Trailers, foi designada para a realização da implementação piloto conforme plano específico exibido no Apêndice C. Após analisar a documentação do processo produtivo e os registros operacionais sobre a fabricação de um reboque típico em cooperação com o pessoal da empresa e desempenhando o papel de um revendedor hipotético, considerando as definições, instruções e cálculos fornecidos pelas três primeiras etapas do procedimento FCAUP (*Foreword Stage*, *Classification Stage*, *Arrangement Stage*), os seguintes dados foram contabilizados:

- Uma média de 105 registros individuais referentes a um único reboque finalizado a serem analisados durante a avaliação de conformidade para aceitação do revendedor;
- Destes registros individuais, 89 foram classificados como registros-partícula (PLR) e 16 como registros-onda (WLR);
- Cinco graus de confiança na condição de conformidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) de acordo com a matriz de decisão adequada (Tabela 7) para avaliação dos 105 registros individuais ($100 \leq \text{quantidade de registros} \leq 999$).

Dando sequência às atividades relacionadas à terceira etapa FCAUP (*Arrangement Stage*), fazendo o papel de um revendedor hipotético e assumindo que todos os registros disponíveis foram avaliados em detalhes (neste caso CREI = 1), cinco posturas diferentes foram consideradas, dependendo da percepção do revendedor quanto ao grau de confiança no status de conformidade (DTC): duas delas em uma condição otimista, uma delas em uma condição neutra e duas delas estão em uma condição pessimista. Em outras palavras, cada postura específica poderia ser adotada por diferentes revendedores com características distintas. A Tabela 11 mostra os resultados dos cálculos referentes à recomendação quantitativa para duplas inspeções em registros individuais de um reboque típico, com base na postura de cada um dos possíveis revendedores hipotéticos.

Tabela 11 – Recomendação para duplas inspeções conforme percepção do revendedor

Postura do Revendedor	CREI	DTC	Quantidade de	Quantidade de
			duplas inspeções	inferências em
			em PLR	WLR
Revendedor 1 (otimista)	1	Muito alto	2	1
Revendedor 2 (otimista)	1	Alto	8	2
Revendedor 3 (neutro)	1	Médio	17	3
Revendedor 4 (pessimista)	1	Baixo	29	6
Revendedor 5 (pessimista)	1	Muito baixo	45	8

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 37 apresenta um exemplo de cálculo na aba “*calculations*” da planilha operacional do procedimento FCAUP (vide Apêndice A) considerando uma condição otimista enfrentada por um revendedor hipotético durante a atividade de aceitação de um reboque típico.

Figura 37 – Exemplo de cálculo referente a um reboque típico conforme FCAUP

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)					FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: Trailer (see Remark)			COMPANY: Boatmate Trailers LLC		
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes			DATE: April/2019		
PLR Qty	89	←	Input the amount of particle-like records based on documentation review		
WLR Qty	16	←	Input the amount of wave-like records based on documentation review		
Evaluated Records Qty	105	←	Input the actual amount of individual records evaluated in detail		
CREI	1	(formula)	CREI = (Qty evaluated) divided by (Qty total)		
DTC Qty	5	(formula)	DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)		
Decision Matrix		Table 2	(formula)	Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)	
DTC		high	←	Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information	
Uncertainty Zone		VIII	(formula)	As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)	
Quantitative Recommendation (% Double Insp)		8%	(formula)	As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)	
Amount of PLR's to be double-checked (position)		8	(formula)	Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)	
Amount of WLR's to be revisited (momentum)		2	(formula)	Amount to be included in verification list (regarding momentum)	
REMARK: Calculations based on Production Floor Traveler/Job Order 59022-0000 of Trailer ID K1403					

Fonte: Produção do próprio autor.

Após comparar a recomendação quantitativa estabelecida para revendedores hipotéticos (Tabela 11) e a *checklist* existente para a aceitação do revendedor previamente preparado pelo pessoal da Boatmate Trailers (Tabela 10), entendeu-se que esta última pode ser interpretada como uma lista de verificação conservadora cercada por percepções pessimistas pois, de acordo com o procedimento FCAUP, 27 verificações correspondem aproximadamente ao baixo grau de confiança na condição de conformidade. Além disso, uma lista de verificações coerente a ser usada como orientação para as atividades de aceitação de produtos acabados, inspecionados e aprovados deveria ser baseada em condições imparciais.

Portanto, considerando os estágios iniciais do procedimento FCAUP durante esta implementação piloto na Boatmate Trailers, três novos tipos de *checklists* (A, B e C) foram sugeridos para a inspeção de aceitação do revendedor, assumindo pelo menos condições neutras. A Tabela 12 apresenta a recomendação quantitativa em relação às novas *checklists*, considerando os seguintes graus de confiança na conformidade (DTC): muito alto, alto e médio. Sob tal entendimento, julgou-se apropriado não estabelecer *checklists* para grau de confiança baixo ou muito baixo, pois a inspeção de aceitação do revendedor está relacionada apenas a produtos acabados, previamente inspecionados e devidamente aprovados pelo setor de qualidade da empresa.

Além disso, com base na terceira etapa do procedimento FCAUP (*Arrangement Stage*) e após a análise da documentação de produção e dos registros disponíveis, duas listas qualitativas foram definidas em cooperação com os inspetores da Boatmate Trailers:

- Lista dos registros individuais mais importantes que podem ser duplamente inspecionados com facilidade, ou seja, uma lista com as principais duplas inspeções

relacionadas a um reboque acabado típico, classificadas em ordem decrescente de importância (vide Quadro 20);

- Lista dos registros individuais mais importantes que não podem ser duplamente inspecionados de forma adequada, ou seja, uma lista com a priorização das inferências cruciais relacionadas a um reboque acabado típico, também em ordem decrescente de importância (vide Quadro 21).

Tabela 12 – Recomendação para duplas inspeções conforme novas *checklists* A, B e C

Inspeção de Aceitação de Revendedor	DTC	Quantidade de duplas inspeções em PLR	Quantidade de inferências em WLR
<i>Checklist A (postura muito otimista)</i>	Muito alto	2	1
<i>Checklist B (postura otimista)</i>	Alto	8	2
<i>Checklist C (postura neutra)</i>	Médio	17	3

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 20 – Lista ranqueada das duplas inspeções em um reboque acabado típico

CÓDIGO	CHECKLIST PLR (duplas inspeções a serem efetuadas em registros-partícula)
<i>PLR #1</i>	<i>Pintura geral (verificar se a pintura do reboque está conforme projeto e se é aceitável).</i>
<i>PLR #2</i>	<i>Estrutura do reboque (verificar se todos os prendedores estão instalados e torquados).</i>
<i>PLR #3</i>	<i>Rodas (verificar se a configuração está correta conforme projeto).</i>
<i>PLR #4</i>	<i>Rodas (verificar torque de aperto nas rodas: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf).</i>
<i>PLR #5</i>	<i>Parte dianteira do reboque (verificar se engate e guincho estão instalados e torquados).</i>
<i>PLR #6</i>	<i>Parte dianteira do reboque (verificar se os cabos de segurança estão instalados).</i>
<i>PLR #7</i>	<i>Parte dianteira do reboque (verificar se os suportes e batentes estão instalados e torquados).</i>
<i>PLR #8</i>	<i>Parte dianteira do reboque (verificar se pedestal com rodinha está instalado e operacional).</i>
<i>PLR #9</i>	<i>Parte dianteira do reboque (verificar nível do fluido de freio no reservatório).</i>
<i>PLR #10</i>	<i>Luzes (verificar funcionamento e se a configuração está correta conforme projeto).</i>
<i>PLR #11</i>	<i>Pintura (verificar se pintura das lâmpadas é aceitável).</i>
<i>PLR #12</i>	<i>Parte traseira do reboque (verificar se as amarras estão corretamente instaladas).</i>
<i>PLR #13</i>	<i>Pintura (verificar se pintura da roda é aceitável).</i>
<i>PLR #14</i>	<i>Degraus (verificar se decalques e refletores estão corretamente instalados).</i>
<i>PLR #15</i>	<i>Degraus (verificar se o material no topo dos degraus/paralamas está corretamente fixado).</i>
<i>PLR #16</i>	<i>Estrutura do reboque (verificar se os decalques com logomarca são aceitáveis).</i>
<i>PLR #17</i>	<i>Estrutura do reboque (verificar o estepe, se aplicável; torque na roda: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf).</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 21 – Lista ranqueada das principais inferências em um reboque acabado típico

CÓDIGO	CHECKLIST WLR (principais inferências a serem efetuadas em registros-onda)
<i>WLR #1</i>	<i>Posicionamento e características dimensionais específicas dos suportes durante soldagem.</i>
<i>WLR #2</i>	<i>Posicionamento e características dimensionais específicas do freio durante soldagem.</i>
<i>WLR #3</i>	<i>Posicionamento e características dimensionais específicas dos eixos de roda durante soldagem.</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

Após combinar os dados da Tabela 12, do Quadro 20 (*checklist* PLR) e do Quadro 21 (*checklist* WLR), três novas listas de verificação sugeridas para a inspeção de aceitação do revendedor foram avaliadas e aprovadas pela equipe da Boatmate Trailers:

- *Checklist A* (postura muito otimista), que inclui duplas inspeções e inferências baseadas em amostragem intencional sobre os registros individuais PLR #1, PLR #2 e WLR #1, aplicável quando o grau de confiança na condição de conformidade (DTC) é muito alto (vide Figura 38);
- *Checklist B* (postura otimista), que inclui duplas inspeções e inferências com base em amostragem intencional nos registros individuais PLR #1 a PLR #8, WLR #1 e WLR #2, aplicável quando o DTC é alto (vide Figura 39);
- *Checklist C* (postura neutra), que inclui duplas inspeções e inferências com base em amostragem intencional nos registros individuais PLR #1 a PLR #17 e WLR #1 a WLR #3, aplicável quando o DTC é médio (vide Figura 40).

As *checklists* A, B e C também foram incluídas na aba “*summary and conclusion*” da planilha operacional (vide Apêndice A), a fim de confirmar se os registros individuais selecionados atendiam aos critérios do procedimento FCAUP (estabelecidos no Quadro 18). Dado que tais critérios foram atendidos, todas as novas *checklists* foram aprovadas pela equipe da Boatmate Trailers envolvida na implementação piloto. Como exemplo, a Figura 41 mostra a *checklist* B revisada e aprovada na aba “*summary and conclusion*”. As novas *checklists* A, B e C, definidas conjuntamente com os inspetores da Boatmate Trailers, passaram então a ser oferecidas aos revendedores que costumeiramente realizam alguma inspeção formal de aceitação durante o recebimento dos produtos.

O relatório contendo os detalhes desta implementação piloto está disponível para visualização no Apêndice D e alguns exemplos de registros de fabricação obtidos junto à empresa Boatmate Trailers podem ser consultados no Anexo D.

Figura 38 – Checklist A para inspeção de aceitação dos revendedores da Boatmate Trailers

BOATMATE TRAILERS ACCEPTANCE INSPECTION AS PER FCAUP (CHECKLIST A)		
Note: This Checklist A is recommended for very optimistic approach in terms of degree of trust in conformity status		
TRAILER ID:		
DEALER:		
DATE:		
CODE	DOUBLE INSPECTIONS ON PLR AND INFERENCES ON WLR	CONFORM?
PLR #1	Paint checks (confirm if paint on trailer is acceptable)	
PLR #2	Frame rails (lag screws/carriage bolts in boards are present and tight)	
WLR #1	Positioning and specific dimensional characteristics of bunk bracket during welding	
FINAL RESULT:		

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 39 – Checklist B para inspeção de aceitação dos revendedores da Boatmate Trailers

BOATMATE TRAILERS ACCEPTANCE INSPECTION AS PER FCAUP (CHECKLIST B)		
Note: This Checklist B is recommended for optimistic approach in terms of degree of trust in conformity status		
TRAILER ID:		
DEALER:		
DATE:		
CODE	DOUBLE INSPECTIONS ON PLR AND INFERENCES ON WLR	CONFORM?
PLR #1	Paint checks (confirm if paint on trailer is acceptable)	
PLR #2	Frame rails (lag screws/carriage bolts in boards are present and tight)	
PLR #3	Wheels (correct configuration as per design)	
PLR #4	Wheels (wheels torque: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf)	
PLR #5	Front end (jack and winch are tight)	
PLR #6	Front end (safety cables are present and tight)	
PLR #7	Front end (7 round holder/5 flat holder is installed and tight)	
PLR #8	Front end (bow roller is installed and functioning properly, locking nut is tightened)	
WLR #1	Positioning and specific dimensional characteristics of bunk bracket during welding	
WLR #2	Positioning and specific dimensional characteristics of brake during welding	
FINAL RESULT:		

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 40 – Checklist C para inspeção de aceitação dos revendedores da Boatmate Trailers

BOATMATE TRAILERS ACCEPTANCE INSPECTION AS PER FCAUP (CHECKLIST C)		
Note: This Checklist C is recommended for neutral approach in terms of degree of trust in conformity status		
TRAILER ID:		
DEALER:		
DATE:		
CODE	DOUBLE INSPECTIONS ON PLR AND INFERENCES ON WLR	CONFORM?
PLR #1	Paint checks (confirm if paint on trailer is acceptable)	
PLR #2	Frame rails (lag screws/carriage bolts in boards are present and tight)	
PLR #3	Wheels (correct configuration as per design)	
PLR #4	Wheels (wheels torque: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf)	
PLR #5	Front end (jack and winch are tight)	
PLR #6	Front end (safety cables are present and tight)	
PLR #7	Front end (7 round holder/5 flat holder is installed and tight)	
PLR #8	Front end (bow roller is installed and functioning properly, locking nut is tightened)	
PLR #9	Front end (brake fluid is present in reservoir and is touching dip stick cap)	
PLR #10	Lights (correct configuration as per design and functioning properly)	
PLR #11	Paint checks (paint on light trim is acceptable)	
PLR #12	Back of trailer (ratchet tie downs are installed properly and functional, if applicable)	
PLR #13	Paint checks (paint on wheel trim is acceptable)	
PLR #14	Steps (decals and reflectors are present)	
PLR #15	Steps (all material on top of steps/fenders is stuck and straight)	
PLR #16	Frame rails (brand decals are acceptable)	
PLR #17	Frame rails (spare tires are present, if applicable; torque: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf)	
WLR #1	Positioning and specific dimensional characteristics of bunk bracket during welding	
WLR #2	Positioning and specific dimensional characteristics of brake during welding	
WLR #3	Positioning and specific dimensional characteristics of axle during welding	
FINAL RESULT:		

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 41 – Checklist B na aba “summary and conclusion” da planilha operacional

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION							FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: see Remark		COMPANY: Boatmate Trailers LLC		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)			
ASSESSOR'S NAME: see Remark		CREI: 1	DTC: High	PLR: 8	WLR: 2		
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.		Is the individual record indeed representative of the whole item in terms of function, fit or form?	Is the individual record specific and does it allow objective double inspection on its "position"?	Is it possible to carry out double inspection on "position" of the individual record in short term?	Is the individual record specific and does it allow inferences on "momentum" based on available information?	Is it possible to make assertive inferences on "momentum" of the individual record in short term?	The final result of the conformity assessment shall be stated as CONFORM only if all listed individual records are found conform (both PLR and WLR).
#	PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT
1	Paint checks (confirm if paint on trailer is acceptable)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
2	Frame rails (lag screws/carriage bolts in boards are present and tight)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
3	Wheels (correct configuration as per design)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
4	Wheels (wheels torque: 115 ft-lbf +/- 2 ft-lbf)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
5	Front end (jack and winch are tight)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
6	Front end (safety cables are present and tight)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
7	Front end (7 round holder/5 flat holder is installed and tight)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
8	Front end (bow roller is installed and functioning properly, locking nut is tight)	YES	YES	YES	N/A	N/A	
9							
10							
#	WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)	CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT
1	Positioning and dimensional characteristics of bunk bracket during welding	YES	N/A	N/A	YES	YES	
2	Positioning and dimensional characteristics of brake during welding	YES	N/A	N/A	YES	YES	
3							
4							
5							
REMARK: Preliminary Evaluation of Checklist B for Dealer's Acceptance Inspection (only to confirm whether the selected individual records complied with the guidelines and criteria)							
ASSESSOR'S SIGNATURE: _____		DATE: April/2019		FINAL RESULT: _____			

Fonte: Produção do próprio autor.

4.2.3 Resultados da Aplicação Prática do Procedimento FCAUP

4.2.3.1 Descrição da Empresa API América Latina

API América Latina é o nome fantasia da Automated Precision Metrologia Aplicada Ltda., uma empresa com 10 funcionários, sediada em São José dos Campos/SP e filiada à API Automated Precision Inc. dos Estados Unidos da América, que desenvolve e fabrica equipamentos de medição. O grupo API tem presença em mais de sessenta países ao redor do mundo, com atuação em pré-venda, pós-venda, serviços de medição, reparo de equipamentos, calibração de equipamentos e suporte técnico nos cinco continentes (API AUTOMATED PRECISION INC., 2020). A API América Latina desempenha as seguintes atividades:

- Comércio atacadista de máquinas e equipamentos para uso industrial;
- Instalação de máquinas e equipamentos industriais;
- Manutenção e reparo de aparelhos e instrumentos de medição, teste e controle;
- Aluguel de máquinas e equipamentos comerciais e industriais;
- Treinamento e apoio operacional.

Em suma, a API América Latina realiza venda, distribuição e locação dos equipamentos de medição tridimensional produzidos pela API Automated Precision Inc. (EUA) e, além disso, também presta serviços de medição, calibração e treinamento operacional utilizando os mesmos

tipos de equipamentos. Uma visão geral do mapeamento dos processos da API América Latina é apresentada na Figura 42.

Figura 42 – Visão geral dos processos da API América Latina



Fonte: Baseado em API América Latina (2019).

O principal equipamento de medição fabricado pela API Automated Precision Inc. (EUA) e comercializado pela API América Latina refere-se à série *Radian Laser Tracker* com aplicações industriais em alinhamento, calibração de instrumentos, medição de peças, inspeção de gabaritos e engenharia reversa (vide Figura 43).

Figura 43 – Exemplos de equipamentos utilizados pela API América Latina



Fonte: API Automated Precision Inc. (2020).

4.2.3.2 Aplicação de FCAUP na API América Latina

A API América Latina possui um sistema de gestão da qualidade (SGQ) formalmente estabelecido desde dez. 2017 e certificado em mar. 2018 de acordo com os requisitos da norma

ABNT NBR ISO 9001:2015. Como uma das formas de garantir a eficácia de seu SGQ e a manutenção de sua certificação, a API América Latina realiza auditorias internas periódicas conforme previsto em seu Manual da Qualidade. Sendo a auditoria uma das técnicas mais comuns para avaliar conformidade, optou-se pela aplicação prática do procedimento FCAUP na referida empresa conforme plano específico apresentado no Apêndice E.

O plano citado considera a aplicação do procedimento FCAUP durante a auditoria interna realizada na API América Latina em jan. 2020, com participação efetiva deste pesquisador, e que também levou em consideração as orientações expressas no guia ABNT NBR ISO 19011:2018. A realização do estudo de campo nesta empresa foi conveniente em termos comparativos, pois este pesquisador também havia participado de outras auditorias realizadas anteriormente sem o emprego do procedimento FCAUP. O Quadro 22 exibe um paralelo entre as etapas FCAUP e as principais atividades de auditoria recomendadas no guia ABNT NBR ISO 19011:2018.

Quadro 22 – Etapas FCAUP para auditoria interna do SGQ da API América Latina

ETAPA DO PROCEDIMENTO FCAUP		AUDITORIA INTERNA (ABNT NBR ISO 19011:2018)
F	<i>Foreword Stage (Prólogo)</i>	<i>Planejamento e preparação da auditoria interna do SGQ da API América Latina conforme orientações do guia ABNT NBR ISO 19011:2018 (itens 6.2 e 6.3).</i>
C	<i>Classification Stage (Classificação)</i>	
A	<i>Arrangement Stage (Arranjo)</i>	
U	<i>Uncovering Stage (Revelação)</i>	<i>Realização da auditoria interna do SGQ conforme orientações do guia ABNT NBR ISO 19011:2018 (item 6.4).</i>
P	<i>Paperwork Stage (Formalização)</i>	<i>Relatório e conclusão da auditoria interna conforme orientações do guia ABNT NBR ISO 19011:2018 (itens 6.5 e 6.6).</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

De acordo com a primeira etapa do procedimento FCAUP (*Foreword Stage*), foi antecipadamente efetuada uma análise completa da documentação da API América Latina que, em termos quantitativos, revelou a existência de 76 documentos de planejamento, organização e controle diretamente relacionados ao sistema de gestão da qualidade:

- 1 Manual da Qualidade contendo escopo, política e objetivos da qualidade, além de uma descrição geral do SGQ da empresa;
- 9 procedimentos com resumo das principais atividades empresariais, sendo 5 para os processos operacionais e 4 para os processos de apoio;

- 23 instruções de trabalho na forma de fluxogramas ou diagramas das principais tarefas cotidianas, sendo 1 para os processos da qualidade, 9 para os processos operacionais e 13 para os processos de apoio;
- 43 formulários para controle e geração de registros do SGQ, sendo 8 para os processos da qualidade, 14 para os processos operacionais e 21 para os processos de apoio.

Durante a preparação da auditoria interna, em conjunto com o auditor interno da API, também foi constatada a existência de 402 registros de execução de atividades diversas no âmbito do SGQ, assim divididos:

- 18 registros relativos aos processos da qualidade;
- 174 registros relativos aos processos operacionais;
- 210 registros relativos aos processos de apoio.

Cada um dos registros existentes caracteriza-se como evidência documentada de atividades relativas ao sistema de gestão da qualidade da empresa realizadas desde a implantação do SGQ, tais como pesquisa de satisfação de cliente, avaliação de fornecedor, solicitação de compra, relatório de feiras e eventos, laudo técnico de inspeção dimensional, certificado de calibração de equipamentos, relatório de treinamento, relatório de não conformidade, análise de riscos e oportunidades, relatório de auditoria interna, entre outros.

Na prática tais registros não são registros individuais, pois cada um deles engloba uma variedade de dados e informações técnicas que, estas sim, poderiam ser caracterizadas como registros individuais. Entretanto, para o propósito da auditoria interna em questão, cada documento relativo ao SGQ da API América Latina foi considerado como “partícula” ou registro individual a ser analisado para a referida avaliação de conformidade de primeira parte em relação aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015. Assim sendo, com base em tal consideração, foram contabilizados 478 registros para esta avaliação de conformidade, sendo 76 referentes aos documentos de planejamento, organização e controle e 402 referentes aos registros específicos das atividades realizadas.

Outra consideração importante em relação a esta avaliação de conformidade, refere-se à análise dos registros selecionados juntamente com sua respectiva dupla verificação ou reinspeção. Em essência, todos os documentos de planejamento, organização e controle, assim como todos os registros de atividades realizadas permitem análise detalhada quanto à aderência aos requisitos da norma de referência para SGQ. Todavia, somente os documentos ou registros emitidos em relação a atividades que correspondam a um produto físico disponível ou acessível permitem a realização de algo semelhante a uma reinspeção, característica típica de registro-

partícula (PLR). Neste contexto, todo documento associado a qualquer evento sem objeto material concreto ou relacionado a um produto físico indisponível ou inacessível na ocasião da avaliação de conformidade, caracteriza-se como registro-onda (WLR). O Quadro 23 apresenta alguns exemplos de registros-partícula (PLR) e registros-onda (WLR) classificados conforme definições da segunda etapa FCAUP (*Classification Stage*).

Quadro 23 – Classificação de alguns registros da API América Latina

DOCUMENTO (REGISTRO)	EVENTO, PROCESSO OU PRODUTO CORRESPONDENTE	PRODUTO FÍSICO DISPONÍVEL?	TIPO
<i>Manual da Qualidade</i>	<i>Sistema de gestão da qualidade</i>	<i>NÃO</i>	<i>WLR</i>
<i>Procedim. / Instr. de Trabalho</i>	<i>Descrição de atividades dos processos</i>	<i>NÃO</i>	<i>WLR</i>
<i>Pesquisa de Satisfação Cliente</i>	<i>Entrevista com cliente</i>	<i>NÃO</i>	<i>WLR</i>
<i>Certificado de Calibração</i>	<i>Calibração de equipamentos</i>	<i>SIM / NÃO</i>	<i>PLR / WLR</i>
<i>Laudo de Inspeção Dimens.</i>	<i>Inspeções dimensionais diversas</i>	<i>SIM / NÃO</i>	<i>PLR / WLR</i>
<i>Relat. de Não Conformidade</i>	<i>Não conformidades operacionais</i>	<i>SIM / NÃO</i>	<i>PLR / WLR</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

Alguns registros, tais como certificados de calibração, relatório de inspeção dimensional e laudo técnico poderiam ser PLR ou WLR, dependendo da disponibilidade ou acessibilidade do produto correspondente em termos de dupla verificação. No caso específico da preparação da referida auditoria interna, 8 registros foram classificados como registros-partícula (PLR) e 470 como registros-onda (WLR). Assim sendo, considerando as definições, instruções e cálculos fornecidos pela terceira etapa FCAUP (*Arrangement Stage*), foi obtido o indicador de avaliação de registros de conformidade (CREI = 0,6025) por meio da planilha operacional, levando em conta que, dos 478 documentos, 288 foram analisados detalhadamente (76 documentos de planejamento, organização e controle, 18 registros de processos da qualidade, 98 registros de processos operacionais e 96 registros de processos de apoio).

Na sequência das atividades relacionadas à terceira etapa FCAUP (*Arrangement Stage*) relativa à preparação da auditoria interna, foi estabelecida a quantidade de cinco graus de confiança na condição de conformidade (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) de acordo com a fórmula da planilha (vide Figura 44) baseada na matriz de decisão da Tabela 7 para avaliação de 478 registros ($100 \leq \text{quantidade de registros} \leq 999$). Quanto à definição do grau de confiança na condição de conformidade (DTC) em relação aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015, foi escolhido o grau “muito alto”, pelos seguintes motivos principais:

- Este pesquisador já conhecia os detalhes do SGQ da API América Latina devido a um relacionamento profissional prévio e participação em uma auditoria interna anterior;
- O SGQ da empresa foi certificado e confirmado após as auditorias de certificação e manutenção conduzidas, respectivamente em 2018 e 2019;
- Diretoria e funcionários da empresa demonstraram forte comprometimento em manter o nível de organização obtido com a implantação do SGQ.

Figura 44 – Cálculos do planejamento da auditoria interna conforme FCAUP

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: CALCULATIONS (ARRANGEMENT STAGE)					FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade)			COMPANY: API América Latina		
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes			DATE: Jan/2020		
PLR Qty	8	←		Input the amount of particle-like records based on documentation review	
WLR Qty	470	←		Input the amount of wave-like records based on documentation review	
Evaluated Records Qty	288	←		Input the actual amount of individual records evaluated in detail	
CREI	0,6025	(formula)		CREI = (Qty evaluated) divided by (Qty total)	
DTC Qty	5	(formula)		DTC Qty=3 (for less than 100 records); DTC Qty=7 (for 1000 or more records)	
Decision Matrix	Table 2	(formula)		Table 1 (DTC Qty=3); Table 2 (DTC Qty=5); Table 3 (DTC Qty=7)	
DTC	very high	←		Select the degree of trust in conformity based on previous perception/information	
Uncertainty Zone	VIII	(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)	
Quantitative Recommendation (% Double Insp)	8%	(formula)		As per Decision Matrices (Table 1, 2 or 3)	
Amount of PLR's to be double-checked (position)	1	(formula)		Amount to be included in sampling inspection plan (regarding position)	
Amount of WLR's to be revisited (momentum)	38	(formula)		Amount to be included in verification list (regarding momentum)	

Fonte: Produção do próprio autor.

Em decorrência do valor de CREI e do DTC adotado para a preparação da auditoria interna, foi obtida a recomendação quantitativa para realização de 8% de duplas verificações com auxílio da planilha operacional e de acordo com a matriz de decisão exibida previamente na Tabela 7. Assim sendo, para a referida avaliação de conformidade, efetivada na forma de uma auditoria interna, foi estabelecida a dupla inspeção de 1 registro-partícula (PLR) e a verificação de 38 registros-onda (WLR) conforme indicado na Figura 44.

E para concluir a terceira etapa FCAUP (*Arrangement Stage*) foram estabelecidas duas listas de verificação em cooperação com a equipe da API América Latina: uma lista com a dupla inspeção do registro-partícula (PLR) conforme indicado no Quadro 24 e uma lista das inferências relativas aos registros-onda (WLR) conforme exibido no Quadro 25. A composição das listas de verificações foi baseada em um ranqueamento qualitativo efetuado com apoio da equipe da API, considerando os registros mais importantes e representativos do sistema de gestão da qualidade. Alguns detalhes das listas em questão foram intencionalmente omitidos para preservar informações estratégicas da empresa.

Quadro 24 – Dupla inspeção relativa à auditoria interna

CÓDIGO	CHECKLIST PLR (dupla inspeção a ser efetuada em registro-partícula)
<i>PLR #1</i>	<i>RPO-166/2019 Certificado</i> [REDACTED]

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 25 – Lista das principais inferências relativas à auditoria interna

CÓDIGO	CHECKLIST WLR (principais inferências a serem efetuadas em registros-onda)
<i>WLR #1</i>	<i>API-PQ-00001 Rev.3 Manual da Qualidade.</i>
<i>WLR #2</i>	<i>API-PA-20001 Rev.2 Procedimento "Marketing e Gestão do Relacionamento com Cliente".</i>
<i>WLR #3</i>	<i>API-PO-10002 Rev.2 Procedimento "Venda de Equipamentos e Serviços".</i>
<i>WLR #4</i>	<i>API-PO-10003 Rev.2 Procedimento "Serviços de Calibração e Manutenção".</i>
<i>WLR #5</i>	<i>RPA-002/2018 Registro de satisfação do cliente</i> [REDACTED]
<i>WLR #6</i>	<i>RPA-044/2018 Requisição de compra</i> [REDACTED]
<i>WLR #7</i>	<i>RPA-073/2019 Reposição de estoque</i> [REDACTED]
<i>WLR #8</i>	<i>RPA-078/2019 Solicitação de viagem</i> [REDACTED]
<i>WLR #9</i>	<i>RPA-081/2019 Registro de satisfação do cliente</i> [REDACTED]
<i>WLR #10</i>	<i>RPA-090/2019 Registro de feira</i> [REDACTED]
<i>WLR #11</i>	<i>RPA-133/2019 Solicitação viagem</i> [REDACTED]
<i>WLR #12</i>	<i>RPA-171/2019 Pesquisa de satisfação ao cliente</i> [REDACTED]
<i>WLR #13</i>	<i>RPA-208/2020 Relatório de feira</i> [REDACTED]
<i>WLR #14</i>	<i>RPO-005/2018</i> [REDACTED]
<i>WLR #15</i>	<i>RPO-009/2018 Checklist Radian</i> [REDACTED]
<i>WLR #16</i>	<i>RPO-041/2018 Registro de treinamento</i> [REDACTED]
<i>WLR #17</i>	<i>RPO-044/2018 Laudo técnico</i> [REDACTED]
<i>WLR #18</i>	<i>RPO-061/2018 Laudo</i> [REDACTED]
<i>WLR #19</i>	<i>RPO-070/2018 Laudo</i> [REDACTED]
<i>WLR #20</i>	<i>RPO-082/2019 Certificado</i> [REDACTED]
<i>WLR #21</i>	<i>RPO-091/2019</i> [REDACTED]
<i>WLR #22</i>	<i>RPO-094/2019 Registro de treinamento</i> [REDACTED]
<i>WLR #23</i>	<i>RPO-120/2019 Laudo técnico</i> [REDACTED]
<i>WLR #24</i>	<i>RPO-131/2019 Laudo</i> [REDACTED]
<i>WLR #25</i>	<i>RPO-133/2019 Registro de treinamento</i> [REDACTED]
<i>WLR #26</i>	<i>RPO-168/2019 Laudo</i> [REDACTED]
<i>WLR #27</i>	<i>RPQ-002/2018 Relatório da 1ª auditoria interna do SGQ da API.</i>
<i>WLR #28</i>	<i>RPQ-005/2018 Análise de riscos</i> [REDACTED]
<i>WLR #29</i>	<i>RPQ-006/2018 Ata de reunião e comunicação do SGQ</i>
<i>WLR #30</i>	<i>RPQ-007/2018 Análise de riscos</i> [REDACTED]
<i>WLR #31</i>	<i>RPQ-008/2018 Relatório análise de riscos e oportunidades.</i> / (continua)

CÓDIGO	CHECKLIST WLR (principais inferências a serem efetuadas em registros-onda) / (conclusão)
WLR #32	RPQ-011/2019 Relatório 2ª auditoria interna do SGQ da API.
WLR #33	RPQ-012/2019 Relatório 3ª análise crítica SGQ API.
WLR #34	RPQ-013/2019 Ata de reunião manutenção SGQ API 2019.
WLR #35	RPQ-015/2020 Relatório análise de riscos e oportunidades.
WLR #36	RPQ-016/2020 Relatório análise crítica requisitos [REDACTED]
WLR #37	RPQ-017/2020 Registro de ação corretiva [REDACTED]
WLR #38	RPQ-018/2020 Registro de ação corretiva [REDACTED]

Fonte: Produção do próprio autor.

A auditoria interna nas instalações da API América Latina foi realizada em dois períodos distintos: na manhã do dia 16 jan. 2020, com ênfase nos processos de apoio e processos da qualidade relacionados e na tarde do dia 23 jan. 2020, direcionada aos processos operacionais e processos da qualidade relacionados. As atividades de auditoria foram conduzidas considerando as instruções da quarta etapa do procedimento FCAUP (*Uncovering Stage*) da seguinte forma:

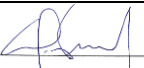
- Reinspeção, juntamente com o auditor interno da API, do único registro-partícula (PLR) selecionado por meio de repetição das medições informadas no registro em questão;
- Avaliação amostral por meio de visitas aos locais de trabalho, observação da rotina de trabalho e entrevistas com funcionários baseadas na lista de verificações dos registros-onda (WLR) em conjunto com o auditor interno da API.

A Figura 45 apresenta um resumo das verificações da auditoria interna na aba “*summary and conclusion*” da planilha operacional FCAUP com alguns detalhes e constatações de auditoria intencionalmente omitidos para preservar informações estratégicas da empresa. A inclusão das verificações da auditoria interna na aba “*summary and conclusion*” também ocorreu para confirmar que os registros selecionados atendiam aos critérios do procedimento FCAUP previamente apresentados no Quadro 18. As planilhas operacionais correspondentes à aplicação do procedimento FCAUP durante esta auditoria interna podem ser consultadas por meio do *link* indicado no Apêndice A.

Ao final desta avaliação de conformidade, a partir das duplas verificações efetuadas e das inferências realizadas, foi possível atestar que o sistema de gestão da qualidade da API América Latina tem mantido a aderência aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015. Portanto, considerando a implementação das ações requeridas em decorrência das constatações e observações de auditoria, o SGQ da empresa demonstrou a prontidão adequada para uma

auditoria de terceira parte, que seria posteriormente conduzida na forma de auditoria de manutenção do SGQ.

Figura 45 – Resumo da auditoria interna conforme procedimento FCAUP

FRAMEWORK FOR CONFORMITY ASSESSMENT: SUMMARY AND CONCLUSION							FCAUP
ITEM UNDER ASSESSMENT: SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade)		COMPANY: API América Latina		DOUBLE INSP & VERIF (AMOUNT)			
ASSESSOR'S NAME: Celso F. Moraes		CREI: 0,6025	DTC: Very High	PLR: 1	WLR: 38		
After documentation review, carry out double inspections on "position" of PLR (particle-like records) and make inferences regarding the "momentum" of WLR (wave-like records) in accordance with qualitative lists to be included below. The amount of individual records to be reinspected (PLR) or revisited (WLR) is given in the header. There are 5 (five) main criteria to confirm the inclusion of the individual records in these lists: in case of PLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 2 and 3; in case of WLR, each individual record must comply simultaneously with criteria number 1, 4 and 5.							
# PLR SAMPLING INSPECTION PLAN (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)		CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	DOUBLE INSP RESULT
1	RPO-166/2019 Certificado	YES	YES	YES	N/A	N/A	
2							
# WLR VERIFICATION LIST (LIST OF INDIVIDUAL RECORDS)		CRITERION 1	CRITERION 2	CRITERION 3	CRITERION 4	CRITERION 5	INFERENCE RESULT
1	API-PQ-00001 Rev.3 Manual da Qualidade	YES	N/A	N/A	YES	YES	
2	API-PA-20001 Rev.2 Procedimento "Marketing e Gestão Relac Cliente"	YES	N/A	N/A	YES	YES	
3	API-PO-10002 Rev.2 Procedimento "Venda de Equipamentos e Serviços"	YES	N/A	N/A	YES	YES	
4	API-PO-10003 Rev.2 Procedimento "Serviços de Calibração e Manutenção"	YES	N/A	N/A	YES	YES	
5	RPA-002/2018 Registro de satisfação do cliente	YES	N/A	N/A	YES	YES	
6	RPA-044/2018 Requisição de compra	YES	N/A	N/A	YES	YES	
7	RPA-073/2019 Reposição de estoque	YES	N/A	N/A	YES	YES	
8	RPA-078/2019 Solicitação de viagem	YES	N/A	N/A	YES	YES	
9	RPA-081/2019 Registro de satisfação do cliente	YES	N/A	N/A	YES	YES	
10	RPA-090/2019 Registro de feira	YES	N/A	N/A	YES	YES	
11	RPA-133/2019 Solicitação viagem	YES	N/A	N/A	YES	YES	
12	RPA-171/2019 Pesquisa de satisfação ao cliente	YES	N/A	N/A	YES	YES	
13	RPA-208/2020 Relatório de feira	YES	N/A	N/A	YES	YES	
14	RPO-005/2018	YES	N/A	N/A	YES	YES	
15	RPO-009/2018 Checklist Radian	YES	N/A	N/A	YES	YES	
16	RPO-041/2018 Registro de treinamento	YES	N/A	N/A	YES	YES	
17	RPO-044/2018 Laudo técnico	YES	N/A	N/A	YES	YES	
18	RPO-061/2018 Laudo	YES	N/A	N/A	YES	YES	
19	RPO-070/2018 Laudo	YES	N/A	N/A	YES	YES	
20	RPO-082/2019 Certificado	YES	N/A	N/A	YES	YES	
21	RPO-091/2019	YES	N/A	N/A	YES	YES	
22	RPO-094/2019 Registro de treinamento	YES	N/A	N/A	YES	YES	
23	RPO-120/2019 Laudo técnico	YES	N/A	N/A	YES	YES	
24	RPO-131/2019 Laudo	YES	N/A	N/A	YES	YES	
25	RPO-133/2019 Registro de treinamento	YES	N/A	N/A	YES	YES	
26	RPO-168/2019 Laudo	YES	N/A	N/A	YES	YES	
27	RPO-002/2018 Relatório da 1ª auditoria interna do SGQ da API	YES	N/A	N/A	YES	YES	
28	RPO-005/2018 Análise de riscos	YES	N/A	N/A	YES	YES	
29	RPO-006/2018 Ata de reunião e comunicação do SGQ	YES	N/A	N/A	YES	YES	
30	RPO-007/2018 Análise de riscos	YES	N/A	N/A	YES	YES	
31	RPO-008/2018 Relatório análise de riscos e oportunidades	YES	N/A	N/A	YES	YES	
32	RPO-011/2019 Relatório 2ª auditoria interna do SGQ da API	YES	N/A	N/A	YES	YES	
33	RPO-012/2019 Relatório 3ª análise crítica SGQ API	YES	N/A	N/A	YES	YES	
34	RPO-013/2019 Ata de reunião manutenção SGQ API 2019	YES	N/A	N/A	YES	YES	
35	RPO-015/2020 Relat análise riscos e oportunidades	YES	N/A	N/A	YES	YES	
36	RPO-016/2020 Relatório análise crítica requisitos	YES	N/A	N/A	YES	YES	
37	RPO-017/2020 Registro de ação corretiva	YES	N/A	N/A	YES	YES	
38	RPO-018/2020 Registro de ação corretiva	YES	N/A	N/A	YES	YES	
ASSESSOR'S SIGNATURE: 		DATE: Jan/2020		FINAL RESULT:		CONFORM	

Fonte: Produção do próprio autor.

Finalizando a aplicação do procedimento FCAUP em sua quinta etapa (*Paperwork Stage*), foi entregue aos responsáveis da empresa o relatório da auditoria interna, contendo escopo e critério da auditoria, as áreas auditadas, os participantes envolvidos, as constatações, as recomendações gerais e a conclusão da auditoria. O relatório foi utilizado como uma das principais referências na reunião de análise crítica do SGQ realizada em 30 jan. 2020 com a gerência da API América Latina; no entanto, não foi incluído neste trabalho acadêmico por conter informações estratégicas da empresa. Na referida reunião de análise crítica foi confirmada a prontidão do sistema de gestão da qualidade da empresa para a auditoria de manutenção do SGQ, que seria conduzida posteriormente pelo organismo certificador.

O relatório referente especificamente aos detalhes da aplicação prática das cinco etapas do procedimento FCAUP na API América Latina, disponível para visualização no Apêndice F, foi elaborado com base em um esquema típico de relatório de pesquisa apresentado por Tripp (2005) com os seguintes tópicos principais: objetivo geral, equipe envolvida, período de implementação, visão geral do projeto, principais atividades realizadas, resultados obtidos e conclusão. Exemplos de alguns documentos e registros do sistema de gestão da qualidade, que foram consultados durante a realização da auditoria interna na API América Latina em São José dos Campos/SP, tais como Manual da Qualidade, ordem de serviço e relatório dimensional, são exibidos no Anexo E.

4.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.3.1 Quanto à Implementação Piloto do Procedimento FCAUP

Um dos principais aspectos vantajosos da implementação piloto de novos modelos, métodos ou procedimentos é a oportunidade de aprimorar a teoria e antecipar alguns problemas operacionais sem a necessidade de consumir uma quantidade imensa de recursos. A implementação piloto aqui relatada foi útil, pois além de suscitar a necessidade de ajustes e melhorias nas planilhas operacionais, os principais conceitos da teoria foram consolidados, uma vez que as questões de pesquisa foram preliminarmente encaminhadas, com boa tendência de confirmação dos pressupostos.

A utilização em campo das planilhas operacionais FCAUP fez com que alguns aspectos inerentes à inserção de dados e padronização de cálculos fossem mais bem observados. Por exemplo, as fórmulas embutidas na aba “*calculations*” da planilha operacional foram aprimoradas de modo a garantir a correta associação com as três matrizes de decisão apresentadas nas Tabelas 5, 7 e 9 deste capítulo. Na aba “*summary and conclusion*” foram melhoradas as células para inserção dos resultados das duplas inspeções e verificações individuais. Além disso, a inclusão da lista de critérios mínimos para definição qualitativa dos registros individuais PLR e WLR na aba “*summary and conclusion*” propiciou o refinamento destes critérios conforme exibido no Quadro 18. De qualquer forma, foi possível confirmar que as planilhas operacionais realmente auxiliam a execução das atividades de avaliação de conformidade em uma situação real.

Quanto aos resultados práticos da implementação piloto, a aprovação das novas *checklists* para a inspeção de aceitação do revendedor pela equipe envolvida da Boatmate Trailers

(subseção 4.2.2) indicou que as etapas iniciais do procedimento FCAUP (*Foreword Stage*, *Classification Stage*, *Arrangement Stage*) são realmente vantajosas durante o processo de avaliação de conformidade. À luz de tal situação, pode-se também inferir que a implementação completa do procedimento FCAUP, considerando também as etapas finais (*Uncovering Stage*, *Paperwork Stage*), seria perfeitamente exequível durante as atividades de aceitação de reboques efetuadas posteriormente por diferentes revendedores, ou seja, após o período destinado à realização do estudo na empresa.

Ainda assim, mesmo se tratando de uma implementação piloto, foi possível identificar algumas características positivas anteriormente previstas durante a verificação teórica preliminar do procedimento FCAUP (subseção 4.2.1), tais como a importância do exame detalhado e categorização dos registros de conformidade, o emprego do conceito de grau de confiança na condição prévia de conformidade e o planejamento antecipado da quantidade de duplas inspeções e verificações. Por outro lado, como a quarta etapa FCAUP (*Uncovering Stage*) não foi conduzida no período do estudo, não foi possível verificar alguns aspectos qualitativos marcantes da avaliação de conformidade e a ocorrência de eventuais situações de comportamento similar ao quântico, por exemplo alguma mudança no julgamento inicial decorrente da avaliação qualitativa aprofundada e o efeito do avaliador causado por particularidades e idiosincrasias na interpretação das constatações.

Além disso, uma análise qualitativa abrangente e estatisticamente fundamentada acerca da opinião dos revendedores em relação às novas *checklists* oferecidas pela Boatmate Trailers seria possível somente após a coleta de um conjunto representativo de dados no decorrer de alguns meses. Para viabilizar a obtenção posterior de tais dados, que não foram disponibilizados durante a realização da implementação piloto aqui reportada, as seguintes orientações foram transmitidas à equipe envolvida e formalizadas no relatório da implementação piloto na Boatmate Trailers (vide Apêndice D):

- Oferecer as novas *checklists* A, B e C para os revendedores realizarem suas atividades de inspeção de aceitação dos reboques;
- Oferecer o apoio necessário aos revendedores durante as atividades de inspeção de aceitação dos reboques;
- Reunir os dados de diversos revendedores e suas respectivas opiniões em relação às novas *checklists* em comparação ao processo anteriormente estabelecido;
- Participar das discussões relativas à análise dos resultados da pesquisa sobre as opiniões dos diversos revendedores.

A partir da obtenção dos dados provenientes de um levantamento (*survey*), considerando vários revendedores diferentes, seria possível realizar alguma análise estatística, tal como um teste de independência entre a opinião dos revendedores e o tipo de *checklist* utilizado por meio da organização dos dados em uma tabela de contingência. Contudo, questões logísticas relativas ao período como pesquisador visitante na Universidade do Tennessee não permitiram a condução de atividades adicionais envolvendo os vários revendedores associados à Boatmate Trailers. Assim sendo, o levantamento em questão está listado como uma das recomendações para trabalhos futuros no capítulo de conclusão (vide seção 5.3).

4.3.2 Quanto à Aplicação Prática do Procedimento FCAUP

A realização da avaliação de conformidade na forma de auditoria interna do SGQ na API América Latina foi bem-sucedida e os principais resultados, que possibilitaram a validação do procedimento FCAUP, podem ser agrupados da seguinte forma:

- Execução adequada e completa das cinco etapas preconizadas pelo procedimento FCAUP;
- Confirmação das principais características operacionais positivas do procedimento previamente identificadas na verificação teórica preliminar e na implementação piloto;
- Possibilidade de realização de análise comparativa entre a auditoria interna conduzida na empresa de acordo com as etapas FCAUP e outras auditorias realizadas anteriormente sem o procedimento citado;
- Condições adequadas para a obtenção de respostas satisfatórias para as questões de pesquisa com confirmação dos pressupostos correspondentes.

As cinco etapas do procedimento FCAUP (*Foreword Stage*, *Classification Stage*, *Arrangement Stage*, *Uncovering Stage*, *Paperwork Stage*) foram executadas em sua plenitude conforme descrição apresentada na subseção 4.2.3. As principais tarefas recomendadas no resumo do Quadro 17 e no fluxograma da Figura 26 foram cumpridas satisfatoriamente, confirmando que o procedimento proposto realmente oferece uma maneira estruturada de exercer as funções seleção, determinação, análise crítica e atestação definidas na norma ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005.

As principais características práticas e operacionalmente vantajosas, previstas durante a verificação teórica preliminar do procedimento FCAUP e a implementação piloto, foram observadas durante a realização da auditoria interna. Entre tais características destacam-se a realização do exame abrangente com categorização dos documentos e registros do SGQ

disponíveis, o emprego do conceito de grau de confiança na condição de conformidade, o planejamento antecipado da quantidade de duplas inspeções e verificações, assim como o uso de amostragem não-probabilística baseada em ranqueamento qualitativo dos registros. Devido a um relacionamento profissional previamente estabelecido com a empresa API América Latina, este pesquisador teve a oportunidade de efetuar uma comparação direta entre algumas auditorias realizadas anteriormente sem o emprego do procedimento FCAUP e a auditoria interna conduzida em jan. 2020 conforme as diretrizes e instruções definidas no novo procedimento. O Quadro 26 resume a análise comparativa em questão.

Quadro 26 – Comparação entre algumas auditorias realizadas na API América Latina

DETALHES DA COMPARAÇÃO	CARACTERÍSTICA DA AUDITORIA			
	<i>SEM FCAUP</i>	<i>SEM FCAUP</i>	<i>SEM FCAUP</i>	<i>COM FCAUP</i>
<i>AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE</i>				
<i>Data de realização da avaliação de conformidade</i>	<i>Jan. 2018</i>	<i>Mar. 2018</i>	<i>Mar. 2018</i>	<i>Jan. 2020</i>
<i>Tipo de avaliação de conformidade</i>	<i>1ª parte</i>	<i>2ª parte</i>	<i>3ª parte</i>	<i>1ª parte</i>
<i>Item sob avaliação</i>	<i>SGQ</i>	<i>SGQ</i>	<i>SGQ</i>	<i>SGQ</i>
<i>Participação do pesquisador</i>	<i>auditor</i>	<i>observador</i>	<i>observador</i>	<i>auditor</i>
<i>Quantidade total de documentos e registros de SGQ disponíveis</i>	<i>77</i>	<i>87</i>	<i>108</i>	<i>478</i>
<i>Percentual de documentos examinados em relação ao total de documentos disponíveis</i>	<i>100%</i>	<i>não informado</i>	<i>não informado</i>	<i>60,25%</i>
<i>Percentual de duplas inspeções e verificações efetivamente realizadas em relação aos documentos e registros de SGQ disponíveis</i>	<i>25% (aprox.)</i>	<i>10% (aprox.)</i>	<i>10% (aprox.)</i>	<i>8%</i>
<i>Duração das atividades de auditoria nas instalações da API América Latina</i>	<i>8 horas (aprox.)</i>	<i>6 horas (aprox.)</i>	<i>12 horas (aprox.)</i>	<i>8 horas (aprox.)</i>
<i>Resultado oficial da avaliação de conformidade</i>	<i>Conformidade não atestada</i>	<i>Conformidade atestada sem observações</i>	<i>Conformidade atestada com observações</i>	<i>Conformidade atestada com observações</i>

Fonte: Produção do próprio autor.

A auditoria interna (primeira parte) realizada em jan. 2018 referia-se a uma quantidade menor de documentos, pois o SGQ da API América Latina acabara de ser implantado (dez. 2017) e poucos registros de atividades desempenhadas estavam devidamente formalizados. Naquele momento, como resultado da auditoria, não foi atestada a conformidade do SGQ em

relação aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015. Correções, ajustes, melhorias e ações específicas foram planejadas e implementadas de tal modo que, no início de mar. 2018, a empresa já apresentava a prontidão necessária para ser auditada por um de seus principais clientes (segunda parte), sendo oficialmente qualificada como fornecedor aprovado. Também em mar. 2018 a empresa foi auditada pelo organismo certificador (terceira parte) que, devido ao resultado positivo, concedeu a certificação do sistema de gestão da qualidade.

Quanto às vantagens advindas da aplicação do procedimento FCAUP durante a última auditoria interna (jan. 2020), destacam-se no Quadro 26 os seguintes pontos principais:

- O percentual de documentos examinados em relação ao total de documentos disponíveis, que corresponde ao CREI (indicador de avaliação de registros de conformidade), foi um fator fundamental para a redução no percentual de duplas inspeções e verificações; fato que nas auditorias anteriores não foi sequer considerado;
- O percentual de duplas inspeções e verificações foi reduzido com a aplicação das etapas FCAUP, pois tal fato se baseia em um planejamento estruturado que leva em consideração aspectos quantitativos e qualitativos, bem como o histórico das auditorias anteriores, dado que o grau de confiança na conformidade (DTC) foi definido como “muito alto”, justamente em decorrência da participação deste pesquisador em auditorias anteriores;
- O período destinado às atividades de auditoria nas instalações da empresa foi mais bem aproveitado, uma vez que, apesar do ciclo ter sido o mesmo da auditoria interna realizada em jan. 2018 sem FCAUP, a quantidade absoluta de duplas inspeções e verificações executadas foi maior devido a maior quantidade de registros disponíveis.

Durante a execução da quarta etapa FCAUP (*Uncovering Stage*) na última auditoria interna, não se manifestou o comportamento similar ao quântico, ou seja, não ocorreram divergências marcantes entre o julgamento inicial e as constatações advindas das duplas inspeções e verificações da auditoria. Entretanto, isso pode ser explicado pelo efeito do avaliador, similar ao efeito do observador da Mecânica Quântica, uma vez que este pesquisador teve participação importante em todas as auditorias listadas no Quadro 26, seja como auditor nas auditorias de primeira parte, seja como observador nas auditorias de segunda e terceira parte. A situação poderia ser diferente caso a auditoria tivesse sido conduzida por outro auditor sem o conhecimento prévio do SGQ da empresa. A propósito, uma pesquisa acadêmica com tal característica está listada como recomendação para trabalhos futuros (vide seção 5.3).

Ao final do estudo de campo as questões de pesquisa (QP) foram respondidas e a coerência dos respectivos pressupostos (P) foi verificada e confirmada (vide Quadro 27).

Quadro 27 – Respostas para as questões de pesquisa e verificação dos pressupostos

OG	QP & P	P CONFIRMADO?
OE.1	(QP.1) A dupla inspeção parcial de registros é a opção mais adequada para a realização da avaliação de conformidade? (P.1) A dupla inspeção é vantajosa especialmente quando há uma grande quantidade de registros de inspeção disponíveis para a realização das atividades de avaliação de conformidade.	SIM. Com base nos primeiros resultados práticos nas empresas Boatmate Trailers e API América Latina, é possível afirmar em termos gerais que a dupla inspeção parcial é, de fato, uma técnica conveniente para execução da avaliação da conformidade, especialmente quando a quantidade de registros de inspeção é grande.
	(QP.2) É possível mitigar os riscos inerentes ao processo de avaliação de conformidade nos casos em que a dupla inspeção parcial dos registros é adotada? (P.2) A realização da avaliação de conformidade por meio de um procedimento estruturado tende a reduzir os riscos (efeitos da incerteza) decorrentes da utilização de dupla inspeção parcial.	SIM. Os riscos relacionados aos julgamentos durante a avaliação na auditoria interna do SGQ foram atenuados, considerando que todos as listas de verificações (duplas inspeções e inferências) foram preparadas a partir das listas ranqueadas dos registros individuais mais relevantes. Generalizando, o emprego de um procedimento estruturado contribui para a redução dos riscos.
OE.2	(QP.3) Qual deve ser a magnitude das duplas inspeções parciais e como definir o que é mandatório? (P.3) A quantidade recomendada de duplas inspeções é diretamente proporcional à incerteza envolvida no processo e é inversamente proporcional ao grau de confiança na condição prévia da conformidade do objeto sob avaliação. A priorização das duplas inspeções pode ser efetuada por meio de julgamento qualitativo e amostragem não probabilística (amostragem intencional).	SIM (com ressalva). Nas duas empresas estudadas, a magnitude de duplas inspeções parciais foi definida de acordo com as matrizes de decisão que foram projetadas com base na interpretação das dimensões CREI (índice de avaliação de registros de conformidade) e DTC (grau de confiança na condição de conformidade). As verificações por meio de amostragem intencional em registros individuais foram definidas com base nos pressupostos P.1, P.2 e P.3. Contudo, de acordo com a analogia aqui apresentada, a escala extremamente pequena do Princípio da Incerteza corresponde à investigação qualitativa extremamente detalhada na avaliação da conformidade e, conseqüentemente, as suposições iniciais poderiam mudar devido ao comportamento similar ao quântico e ao efeito do avaliador. Em outras palavras, recomenda-se atenção redobrada no julgamento qualitativo relacionado às escolhas amostrais da avaliação de conformidade.

Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, em termos gerais, com base nos resultados práticos é esperado que o correto emprego das etapas do procedimento FCAUP facilite o trabalho e reduza o ciclo necessário para a execução das atividades operacionais da avaliação de conformidade, em especial as atividades realizadas nas instalações das empresas sob avaliação. Para divulgar estes resultados, foi elaborado e submetido para publicação em periódico internacional um segundo artigo contendo uma recapitulação da fundamentação teórica do procedimento FCAUP, bem como os detalhes da implementação piloto na Boatmate Trailers e da aplicação prática na API América Latina (vide Apêndice G).

4.3.3 Quanto à Divulgação Acadêmica do Procedimento FCAUP

Na visão de Severino (2016), o conhecimento produzido por meio de pesquisa acadêmica, para se tornar ferramenta apropriada de difusão das práticas mediadoras da existência humana, precisa ser disseminado e repassado, ou seja, deve ser colocado em condições de universalização e não pode ficar arquivado. Tal entendimento reforça a definição apresentada por Gil (2010) que explica que a pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder a um problema particular. Marconi e Lakatos (2010) destacam que a publicação do trabalho de pesquisa (documental, bibliográfico ou de campo) proporciona não somente a ampliação de conhecimentos específicos como também o direcionamento e a compreensão de diversas questões.

Desde o início desta pesquisa de doutorado, mesmo antes de sua aprovação junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da FEG/UNESP, já se vislumbrava a necessidade e a importância de que os resultados, mesmo que parciais, obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa fossem adequadamente divulgados em periódicos científicos internacionais de reconhecida relevância. Uma outra forma de divulgação planejada, porém ainda não realizada, refere-se à apresentação do procedimento FCAUP em congressos e seminários acadêmicos, bem como em indústrias e empresas dos mais variados ramos e portes.

A propósito, um resumo do trabalho foi apresentado para o grupo de pesquisa do Prof. Dr. Eric Mazur, físico e pesquisador da Universidade de Harvard em Cambridge, Massachusetts/EUA (vide Apêndice H). A apresentação ocorreu em maio de 2019 durante o período do doutorado sanduíche na Universidade do Tennessee (vide Anexo F) e foi possível pois na mesma época o orientador acadêmico deste trabalho, encontrava-se como pesquisador visitante na Universidade de Harvard.

Conforme mencionado por Sawhney e Macias de Anda (2017), em um trabalho relativo a um modelo educacional sobre *Lean Systems*, tanto a indústria quanto a academia têm interesse em fornecer as bases para a difusão de novas abordagens, testando e replicando práticas bem-sucedidas. Considerando os resultados positivos obtidos após a verificação teórica, a implementação piloto, a aplicação prática e a consequente validação do procedimento FCAUP, pode-se resumir a divulgação acadêmica deste trabalho conforme demonstrado no Quadro 28.

Quadro 28 – Resumo da divulgação acadêmica desta pesquisa de doutorado

CONDUÇÃO DA PESQUISA E ELABORAÇÃO DA TESE DE DOUTORADO	
<i>DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO FCAUP</i>	<i>PUBLICAÇÕES INTERNACIONAIS</i>
<i>Elaboração da teoria:</i> - Revisão da literatura e definição da analogia entre avaliação de conformidade e o Princípio da Incerteza.	<i>International Journal of Production Economics</i> , ISSN 0925-5273, fator de impacto JCR/2018 4.998: - Artigo publicado em set. 2018 com o título “Framework for conformity assessment based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP)”. (Apêndice B).
<i>Estruturação da arquitetura do procedimento FCAUP:</i> - Organização das etapas e instruções do procedimento.	
<i>Verificação preliminar do procedimento FCAUP:</i> - Releitura de avaliações de conformidade reais utilizando os conceitos do procedimento proposto.	<i>The TQM Journal</i> (ISSN 1754-2731), fator de impacto JCR/2018 2.470: - Artigo submetido em mar. 2020 com o título “Implementation of FCAUP – framework for conformity assessment inspired by the Uncertainty Principle”. (Apêndice G).
<i>Implementação piloto do procedimento FCAUP:</i> - Elaboração de checklists para inspeção de aceitação de reboques para barcos na empresa Boatmate Trailers.	
<i>Aplicação prática e validação do procedimento FCAUP:</i> - Auditoria interna do SGQ na empresa API América Latina em São José dos Campos/SP, Brasil.	

Fonte: Produção do próprio autor.

Segundo Chester (2003), o ditado mais importante da Mecânica Quântica ensina que o que se pode medir é o que se pode saber. Assim sendo, seguindo este preceito, é importante que a validação do procedimento FCAUP seja corroborada por outras aplicações práticas nas mais variadas áreas para que se possa efetivamente disseminar a utilização deste novo procedimento para planejamento e execução das atividades de avaliação de conformidade.

5 CONCLUSÃO

5.1 VERIFICAÇÃO QUANTO AOS OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral de desenvolver um procedimento estruturado para planejamento e execução das atividades de avaliação de conformidade com inspiração em uma analogia com o Princípio da Incerteza da Mecânica Quântica foi plenamente alcançado com a verificação teórica preliminar, efetuada por meio da releitura de registros de inspeções reais, com a realização da implementação piloto no processo de inspeção de aceitação de produtos acabados na empresa Boatmate Trailers em Maryville/TN, EUA e com a aplicação prática e validação durante a auditoria interna do sistema de gestão da qualidade na empresa API América Latina em São José dos Campos/SP, Brasil.

Além disso, devido à utilização em campo das planilhas operacionais desenvolvidas para auxiliar a realização das tarefas recomendadas pelo procedimento, foi possível refinar alguns aspectos conceituais da teoria e padronizar a inserção de dados durante as operações associadas à rotina dos trabalhos de avaliação de conformidade. Apesar de alguns ajustes de planejamento, o ciclo total para realização e conclusão dos trabalhos foi aderente ao cronograma inicial estabelecido para esta pesquisa de doutorado.

Os objetivos específicos também foram alcançados, uma vez que as questões de pesquisa correspondentes foram adequadamente respondidas e os pressupostos associados foram confirmados conforme exposto no Quadro 27 do capítulo anterior. De fato, os primeiros resultados práticos demonstraram que a incerteza inerente ao processo de avaliação de conformidade pode ser contornada com a execução de uma sequência estruturada de atividades fundamentada em critérios quantitativos e qualitativos. Tais resultados também confirmaram que a utilização de duplas inspeções e verificações planejadas a partir de amostragem não-probabilística (amostragem intencional) e julgamento qualitativo facilitam e reduzem o ciclo das atividades operacionais.

Contudo, neste contexto de avaliação baseada em seleção amostral, é importante dedicar especial atenção aos aspectos subjetivos do julgamento na avaliação de conformidade, uma vez que percepções e suposições iniciais podem ser afetadas pelo comportamento similar ao quântico durante a investigação qualitativa aprofundada conforme preconizado pela analogia com o Princípio da Incerteza. Apesar de tal situação nem sempre se evidenciar tão claramente, como discutido na verificação teórica preliminar e na análise de resultados da aplicação prática, não se pode ignorá-la, até porque o efeito do avaliador se manifesta intensamente.

5.2 VERIFICAÇÃO QUANTO À CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

Os resultados descritos no capítulo anterior e a consecução do objetivo geral indicam a real contribuição desta pesquisa de doutorado ao introduzir um procedimento estruturado e original para organizar e simplificar a execução das atividades operacionais relativas ao processo de avaliação de conformidade. Um dos pontos de destaque do procedimento está associado à delimitação dos efeitos da incerteza em situações nas quais se opta por duplas inspeções ou verificações parciais em relação aos registros documentais disponíveis. O referido procedimento, denominado FCAUP (*Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle*), foi desenvolvido a partir de uma abordagem inédita que se apoiou em uma analogia com o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

O ineditismo da abordagem apresentada na arquitetura do procedimento FCAUP já foi previamente mencionado e, além disso, a publicação do artigo contendo a introdução teórica do procedimento em um periódico internacional de reconhecida relevância reforçou tal entendimento (vide Apêndice B). Em um dos comentários recebidos durante o processo de análise crítica do referido artigo, o editor do periódico em questão classificou o trabalho como “*innovative and thought provoking*” (inovador e instigante). O segundo artigo contendo uma recapitulação da teoria e os resultados da implementação piloto e da aplicação prática do procedimento FCAUP foi submetido em outro periódico internacional (vide Apêndice G). O resumo da divulgação acadêmica desta pesquisa de doutorado foi exibido no Quadro 28 do capítulo anterior.

No entanto, somente a introdução de uma abordagem inovadora e as aplicações iniciais bem-sucedidas não garantem incontestavelmente uma contribuição acadêmica abrangente e a validade prática da teoria. Assim sendo, por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, a contribuição para a área de conhecimento será efetivamente confirmada à medida que outros casos de sucesso também sejam adequadamente reportados.

Uma possibilidade de contribuição futura para a área acadêmica seria a adoção do procedimento FCAUP na avaliação de trabalhos de conclusão de curso. As etapas iniciais (*Foreword Stage*, *Classification Stage*, *Arrangement Stage*) seriam executadas previamente durante o exame do material escrito (monografia, dissertação ou tese) como um conjunto de registros individuais a serem analisados e categorizados de acordo com as definições de registro-partícula (PLR) e registro-onda (WLR). As etapas finais (*Uncovering Stage*, *Paperwork Stage*) seriam executadas no dia da apresentação ou da defesa do trabalho.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O procedimento para avaliação de conformidade introduzido por meio desta pesquisa de doutorado foi aplicado e testado em um processo industrial de inspeção de aceitação de produtos acabados e em uma auditoria interna do sistema de gestão da qualidade. No caso da inspeção de aceitação, como se tratou de uma implementação piloto, a pesquisa poderia ser complementada em um trabalho posterior que envolvesse um amplo levantamento sobre a opinião dos diversos revendedores em relação às novas *checklists* para inspeção de aceitação desenvolvidas na presente pesquisa. Já em relação à auditoria interna do SGQ, uma pesquisa suplementar também poderia ser conduzida com o emprego do procedimento FCAUP em uma auditoria futura na mesma empresa, porém com um diferente auditor, sem conhecimento prévio acerca do SGQ da empresa; tal situação provavelmente evidenciaria o efeito do avaliador.

Também podem ser conduzidos levantamentos (*surveys*) com o objetivo de avaliar quais processos industriais apresentam maior receptividade à aplicação do procedimento FCAUP ou quais as condições operacionais que favorecem ou dificultam a ocorrência do comportamento similar ao quântico e do efeito do avaliador. Há ainda a oportunidade para desenvolvimento de um programa computacional customizado com base nas planilhas operacionais. Portanto, existe uma ampla gama de oportunidades para novos trabalhos que reportem o emprego deste novo procedimento em outros processos ou em diferentes atividades da indústria manufatureira.

Além disso, como a delimitação da pesquisa envolveu especificamente aplicações industriais, as seguintes sugestões para novas pesquisas acadêmicas que utilizem FCAUP merecem ser elencadas, considerando que a atividade de avaliação de conformidade compreende diversos setores da atividade econômica:

- Comércio e prestação de serviços nos mais variados ramos;
- Gestão administrativa, financeira e programas de *compliance*;
- Aplicações em instituições públicas, agências reguladoras e órgãos governamentais;
- Gestão hospitalar, setores de segurança no trabalho e gestão de recursos humanos;
- Aplicações em atividades de pesquisa acadêmica e gestão educacional;
- Atividades relacionadas à preservação ambiental e sustentabilidade, entre outras.

Além do mais, tendo em vista a oportunidade de estabelecimento de outros tipos de analogias e associações que também evoquem o Princípio da Incerteza de Heisenberg, muitas outras abordagens inovadoras poderiam motivar a estruturação de pesquisas acadêmicas por meio de diferentes métodos de pesquisa e nos mais variados ramos do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- ACCARDI, L.; KHRENNIKOV, A.; OHYA, M. The problem of quantum-like representation in economy cognitive science and genetics. *In*: ACCARDI, L.; FREUDENBERG, W.; OHYA, M. (ed.). **Quantum bio-informatics II: from quantum information to bioinformatics**. Singapore: World Scientific Publishing, 2008. p. 1-8.
- ADEKOLA, A.; SERGI, B.S. **Global business management: a cross-cultural perspective**. Hampshire: Ashgate Publishing Limited, 2007. 310 p.
- AERTS, D.; GABORA, L.; Sozzo, S. Concepts and their dynamics: a quantum-theoretic modeling of human thought. **Topics in Cognitive Sciences**, Hoboken, v. 5, n. 4, p. 737–772, oct. 2013.
- API AMÉRICA LATINA. **Manual da qualidade da API América Latina**. Rev. 3. São José dos Campos, maio 2019. 23 p.
- API AUTOMATED PRECISION INC. **About API**. Rockville, 2020. Disponível em: <https://www.apimetrology.com>. Acesso em: 13 jan. 2020.
- ASHTIANI, M.; AZGOMI, M.A. A survey of quantum-like approaches to decision making and cognition. **Mathematical Social Sciences**, Amsterdam, v. 75, p. 49-80, may 2015.
- ASSALIM, L.; ALMEIDA, M.F.L. Conformity assessment as a tool for organizational learning in large engineering and construction projects. **Journal of Technology Management & Innovation**, Barcelona, v. 8, n. special issue ALTEC, p. 37-48, feb. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19011**: Diretrizes para auditoria de sistema de gestão. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 53 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a. 59 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b. 32 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17000**: Avaliação da conformidade – vocabulário e princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC GUIA 60**: Avaliação da conformidade – código de boas práticas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 5 p.
- BACON, F. **Novum organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza**. eBooksBrasil, 2002, 332 p. Disponível em: <http://www.ebooksbrasil.org/adobeebook/norganum.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 241-264, feb. 2002.

BES, D.R. **Quantum mechanics**: a modern and concise introductory course. 2nd ed. Berlin; New York: Springer, 2007. 239 p.

BLANCHARD, P.; FRÖHLICH, J.; SCHUBNEL, B. A “garden of forking paths”: the quantum mechanics of histories of events. **Nuclear Physics B**, Amsterdam, v. 912, p. 463-484, nov. 2016.

BOATMATE TRAILERS, LLC. **Photo galleries**. Maryville, 2019. Disponível em: <https://www.boatmatetrailers.com/models.php>. Acesso em: 12 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Tecnologia industrial básica**: trajetória, desafios e tendências no Brasil. Brasília: MCT; CNI; SENAI/DN; IEL/NC, 2005. 177 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Portal de periódicos CAPES/MEC**. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 07 jan. 2020.

BRIGGS, G.A.D.; BUTTERFIELD, J.N.; ZEILINGER, A. The Oxford questions on the foundations of quantum physics. **Proceedings of The Royal Society A**, London, v. 469, n. 2157, p. 1-8, sep. 2013.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Routledge, 1989. 300 p.

CAROBBI, C.; PENNECCHI, F. Bayesian conformity assessment in presence of systematic measurement errors. **Metrologia**, Bristol, v. 53, n. 2, p. S74–S80, mar. 2016.

CARVALHO, M.M. Histórico da gestão da qualidade. In: CARVALHO, M.M; PALADINI, E.P. (ed.). **Gestão da qualidade**: teoria e casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 1-23.

CHESTER, M. **Primer of quantum mechanics**. Mineola: Dover Publications, 2003. 314 p.

CHO, Y.S.; JUNG, J.Y.; LINDERMAN, K. The QM evolution: behavioral quality management as a firm’s strategic resource. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 191, p. 233-249, sep. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Avaliação da conformidade**: conhecendo e aplicando na sua empresa. 2. ed. Brasília: CNI/COMPI, 2002. 78 p.

COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K.; CARPINETTI, L.C.R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334 p.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 266 p.

CRUZ, F.F.S. Mecânica quântica e a cultura em dois Momentos. In: FREIRE JUNIOR, O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, J.L. (ed.). **Teoria quântica**: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 303-320.

DESIMONI, E.; BRUNETTI, B. Uncertainty of measurement and conformity assessment: a review. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 400, n. 6, p. 1729-1741, jun. 2011.

DOYLE, B. **Great problems in philosophy and physics solved?** Cambridge: I-Phi Press, 2016. 454 p.

ESPOSITO, G.; MARMO, G.; SUDARSHAN, G. **From classical to quantum mechanics, an introduction to the formalism, foundations and applications.** Cambridge; New York: University Press, 2004. 592 p.

FEDAK, W.A.; PRENTIS, J.J. The 1925 Born and Jordan paper “On quantum mechanics”. **American Association of Physics Teachers**, College Park, v. 77, n. 2, p. 128-139, feb. 2009.

FERREIRA, J.J.A. Modelos normalizados de sistemas de gestão. Conceitos e certificação: ISO 9001, ISO 14001 e TS 16949. In: CARVALHO, M.M; PALADINI, E.P. (ed.). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 155-190.

FERRELL, O.C.; HARTLINE, M.D. **Estratégia de marketing**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 641 p.

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v. 17, n. 7, p. 655-70, jul. 1997.

FITTS, D.D. **Principles of quantum mechanics as applied to chemistry and chemical physics**. Cambridge University Press, 2002. 352 p.

FORBES, A.B. Measurement uncertainty and optimized conformity assessment. **Measurement**, Amsterdam, v. 39, n. 9, p. 808-814, nov. 2006.

FORSTÉN, J. Future direction for measurement, testing and conformity assessment. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 8, n. 11, p. 498-504, nov. 2003.

FORZA, C.; FILIPPINI, R. TQM impact on quality conformance and customer satisfaction: a causal model. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 1-20, jun. 1998.

FREIRE JUNIOR, O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, J.L. Apresentação teoria quântica: história e cultura. In: FREIRE JUNIOR, O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, J.L. (ed.). **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 11-14.

GALLINA, R.; FLEURY, A. A capacitação tecnológica na empresa: a função da tecnologia industrial básica (TIB). **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 405-418, jun.2013.

GEROLAMO, M.C.; POLTRONIERI, C.F.; YAMADA, T.T., CINTRA, A.L.B. Quality management: how do Brazilian companies use it? **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 143, p. 995-1000, ago. 2014.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 184 p.

GOOKINS, E.F. Inspection and test. *In*: JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. (ed.). **Juran's quality handbook**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1999. p. 686-742.

GRIFFITHS, D. J. **Introduction to quantum mechanics**. 2nd ed. Cambridge University Press, 2016. 465 p.

HAVEN, E.; KHRENNIKOV, A. **Quantum social science**. Cambridge University Press, 2013. 304 p.

HAWKING, S.W. **Uma breve história do tempo: do big bang aos buracos negros**. 30. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2000. 262 p.

HENDRICK, H.W. Field study and field experiment. *In*: STANTON, N.; HEDGE, A.; BROOKHUIS, K.; SALAS, E.; HENDRICK, H. (ed.). **Handbook of human factors and ergonomic methods**. Boca Raton; London; New York; Washington, DC: CRC Press, 2006. p. 745-750.

HILL, C.W.L.; HULT, G.T.M. **Global business today**. 10th ed. New York: Mc Graw-Hill Higher Education, 2017. 560 p.

HINRICHS, W. The impact of measurement uncertainty on the producer's and user's risks, on classification and conformity assessment: an example based on tests on some construction products. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 15, n. 5, p.289-296, may 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Avaliação da conformidade**. 6.ed. Rio de Janeiro: INMETRO, 2007. 57 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Building trust: the conformity assessment toolbox**. Genève: ISO Central Secretariat, 2010. 189 p.

INTERNATIONAL SOLVAY INSTITUTES. **Photo gallery**. Brussels, 2019. Disponível em: http://www.solvayinstitutes.be/html/photo_gallery_solvayconf_physics.html. Acesso em: 13 out. 2019.

JIJNASU, V. The uncertainty principle: a simplified review of the four versions. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, Oxford, v.55, p. 62-71, ago. 2016.

JURAN, J.M. How to think about quality. *In*: JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. (ed.). **Juran's quality handbook**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1999. p. 26-43.

KÄLLGREN, H.; LAUWAARS, M.; MAGNUSSON, B.; PENDRILL, L.; TAYLOR, P. Role of measurement uncertainty in conformity assessment in legal metrology and trade. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 8, n. 12, p. 541-547, dec. 2003.

KLENOVSKY, P. Conformity assessment and metrology: update on the state of affairs. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 11, n. 10, p.525-533, oct. 2006.

KUSELMAN, I; PENNECCHI, F.; SILVA, R.J.N.B.; HIBBERTD, D.B. Conformity assessment of multicomponent materials or objects: risk of false decisions due to measurement uncertainty: a case study of denatured alcohols. **Talanta**, London, v. 164, p. 189-195, mar.2017.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. **A construção do saber**: manual de metodologia de pesquisa em ciências humanas. Porto Alegre: ARTMED; Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999. 340 p.

LEHNER, C. O realismo de Einstein e sua crítica da mecânica quântica. In: FREIRE JUNIOR, O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, J.L. (ed.). **Teoria quântica**: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 183-230.

LEITE, A.C.F.; SIMON, S. Werner Heisenberg e a interpretação de Copenhague: a filosofia platônica e a consolidação da teoria quântica. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 213-241, jun. 2010.

LIEPINA, R.; LAPINA, I.; MAZAI, J. Contemporary issues of quality management: relationship between conformity assessment and quality management. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 110, p. 627-637, jan. 2014.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.V. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed., Editora Atlas, São Paulo, 2010. 297 p.

MARSALL-LLACUNA, M.L. The standards evolution: a pioneering meta-standard framework architecture as a novel self-conformity assessment and learning tool. **Computer Standards & Interfaces**, Amsterdam, v. 55, p. 106-115, jan. 2018.

MARTINS, R.A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P.A.C. (ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 47-63.

MEHRING, M. Principles of quantum computing. **Physica Status Solidi**, Weinheim, v. 244, n. 11, p. 3868–3873, nov. 2007.

MELLO, C.H.P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F.; CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2012.

MIGUEL, P.A.C. Introdução. In: MIGUEL, P.A.C. (ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 1-5.

MOLOGNONI, L.; PLOÊNCIO, L.A.S.; MACHADO, A.M.L.; DAGUER, H. The role of measurement uncertainty in the conformity assessment of the chemical composition of feeds. **Microchemical Journal**, New York, v. 131, p. 79-91, mar. 2017.

NOLAN, P.J. **Fundamentals of modern physics**. New York: Physics Curriculum & Instruction, 2014. 325 p.

NUNES, A.L. Física quântica para todos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. **Anais eletrônicos** [...]. São Luís: Sociedade Brasileira de

Física, 2007. Disponível em:

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/listaresumos.htm>. Acesso em: 26 ago. 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: ótica, relatividade, física quântica** (volume 4). 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2014. 359 p.

OLIVEIRA, O.J. **Curso básico de gestão da qualidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 182 p.

ORRELL, D. **Quantum economics: The New Science of Money**. London: Icon Books, 2018. 304 p.

PALADINI, E.P. Perspectiva estratégica da qualidade. In: CARVALHO, M.M; PALADINI, E.P. (ed.). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. p. 351-414.

PARK, J.; BAHNG, G.W.; CHOI, J.O.; PARK, J. The role of metrology communities under the WTO system: measurement science and conformity assessment procedures. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 15, n. 8, p. 445-450, aug. 2010.

PATY, M. Construção do objeto e objetividade da física quântica. In: FREIRE JUNIOR, O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, J.L. (ed.). **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 155-182.

PENDRILL, L.R. Using measurement uncertainty in decision-making and conformity assessment. **Metrologia**, Bristol, v. 51, n. 4, p. S206-S218, jul. 2014.

PEREIRA, L.C.; BORSCHIVER, S. A avaliação da conformidade no Brasil e o papel da regulação no setor de transformados plásticos nacional. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 12, n. 2, p. 217-230, jul./dez. 2010.

PESSOA JUNIOR, O. Introdução histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 4, n. 1 e 2, p. 89-114, jan./dez. 2006.

PIZA, A.F.R.T. **Mecânica quântica**. São Paulo: EDUSP, 2003. 632 p.

PRAZERES, P.M. **Minidicionário de termos da qualidade**. São Paulo: Editora Atlas, 1997. 244 p.

RÉDEI, M. Facets of quantum logic. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 101-111, mar. 2001.

RENNIE, R. (Ed.). **Dictionary of physics**. 7th ed. Oxford: Oxford University Press, 2015. 666 p.

RIBEIRO NETO, J.B.M.; TAVARES, J.C.; HOFFMANN, S.C. **Sistemas de gestão integrados**: qualidade, meio ambiente, responsabilidade social, segurança e saúde no trabalho. 3. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008. 391 p.

ROSA, C.A.P. **História da ciência**: da antiguidade ao renascimento científico. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2006. 259 p.

SAWHNEY, R.S.; MACIAS DE ANDA, E. Sawhney lean educational maturity model at the University of Tennessee. In: ALVES, A.C.; FLUMERFELT, S.; KAHLEN, F.J. (ed.). **Lean education**: an overview of current issues. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. p. 99-124.

SCHNUTE, J.T.; HAIGH, R. Reference points and management strategies: lessons from quantum mechanics. **ICES Journal of Marine Science**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 4-11, jan. 2006.

SCHUSTER, D.; COBERN, W.W.; ADAMS, B.A.J.; UNDREIU, A.; PLEASANTS, B. Learning of core disciplinary ideas: efficacy comparison of two contrasting modes of science instruction. **Research in Science Education**, New York, v. 48, n. 2, p. 389-435, abr. 2018.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2016. 320 p.

SHANKAR, R. **Principles of quantum mechanics**. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1994. 676 p.

SILVA, A.J.R. Mecânica quântica, ciência básica e geração de riqueza. **Revista USP**, São Paulo, n. 76, p. 88-95, dez. 2007/fev. 2008.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SILVA, Y.R.S.; MANHA, R.M. Globalização. In: BALLESTERO-ALVAREZ, M.E. (ed.). **Administração da qualidade e da produtividade**: abordagens do processo administrativo. São Paulo: Atlas, 2001. 484 p.

SIMON, A.; BERNARDO, M.; KARAPTROVIC, S.; CASADESÚS, M. Integration of standardized environmental and quality management systems audits. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 19, n. 17-18, p. 2057-2065, nov./dec. 2011.

SIVA, V.; GREMYR, I.; BERGQUIST, B.; GARVARE, R.; ZOBEL, T.; ISAKSSON, R. The support of quality management to sustainable development: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 138, p. 148-157, dec. 2016.

SMOTHERMAN, J.M.; KELLEY, J.L. **Process optimization of Boatmate Trailers, LLC**. University of Tennessee Honors Thesis Projects, University of Tennessee, Knoxville, USA, 2012. 13 p.

SOUSA, R.; VOSS, C.A. Quality management re-visited: a reflective review and agenda for future research. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 91-109, jan. 2002.

SQUIRRELL, A. Conformity assessment: providing confidence in testing and calibration. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 13, n. 9, p. 543-546, sep. 2008.

STAPP, H.P. The hard problem: a quantum approach. **Journal of Consciousness Studies**, Charlottesville, v. 3, n. 3, p. 194-210, mar. 1996.

STENHOLM, S; SUOMINEN, K.A. **Quantum approach to informatics**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 238 p.

SUWANDEJ, N. Factors influencing total quality management. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 197, p. 2215-2222, jul. 2015.

SVIRINA, A.; PARFENOVA, E.; SHURKINA, E. Evaluation of uncertainty on the stages of business cycle: implementation of quantum principles. **Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics**, Florida, v. 12, n. 4, p. 79-85, ago. 2014.

THEODOROU, D.; ZANNIKOS, F. The use of measurement uncertainty and precision data in conformity assessment of automotive fuel products. **Measurement**, Amsterdam, v. 50, p. 141-151, apr. 2014.

THORNTON, S.T.; REX, A. **Modern physics for scientists and engineers**. 7th ed. Boston: Cengage Learning, 2013. 688 p.

TIPLER, P.A.; LLEWELLYN, R.A. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2014. 500 p.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005.

TSIMILLIS, K.C. Measurement uncertainty: requirements set in the accreditation standards. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v. 23, n. 2, p. 109-114, mar. 2018.

TURRIONI, J.B.; MELLO, C.H.P. Pesquisa-ação na engenharia de produção. In: MIGUEL, P.A.C. (ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 149-167.

VALADARES, E.C.; ALVES, E.G.; CHAVES, A.S. **Aplicações da física quântica: do transistor à nanotecnologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. 78 p.

VAN DE VEN, A.H. Nothing is quite so practical as a good theory. **Academy of Management Review**, New York, v. 14, n. 4, p. 486-489, oct. 1989.

VEDRAL, V.; PLENIO, M.B. Basics of quantum computation. **Progress in Quantum Electronics**, Elmsford, v. 22, n. 1, p. 1-39, jan. 1998.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 195-219, fev. 2002.

WACKER, J.G. A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 361-385, jul. 1998.

WAGNER, C. Safe products and global trade. **OECD Observer**, Paris, n. 202, p. 13-16, oct./nov. 1996.

WANG, Z.; BUSEMEYER, J.R.; ATMANSPACHER, H.; POTHOS, E.M. The potential of using quantum theory to build models of cognition. **Topics in Cognitive Science**, Hoboken, v. 5, n.4, p. 672-688, oct. 2013.

WENDT, A. **Quantum mind and social science**: unifying physical and social ontology. Cambridge University Press, 2015. 366 p.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v.15, n. 12, p. 6-20, dec. 1995.

WESTERHEIJDEN, D.F. Where are the quantum jumps in quality assurance? Developments of a decade of research on a heavy particle. **Higher Education**, Amsterdam, v. 38, n. 2, p. 233-254, sep. 1999.

WIENGARTEN, F.; PAGELL, M. The importance of quality management for the success of environmental management initiatives. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 140, n. 1, p. 407-415, nov. 2012.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. edição, Porto Alegre: Bookman, 2015. 320 p.

YUKALOV, V.I.; SORNETTE, D. Physics of risk and uncertainty in quantum decision making. **The European Physical Journal B**, Les Ulis, v. 71, n. 4, p. 533-548, oct. 2009.

ZANELLA, L.C.H. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração, UFSC, 2013. 134 p.

ZENG, J.; ZHANG, W.; MATSUI, Y.; ZHAO, X. The impact of organizational context on hard and soft quality management and innovation performance. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 185, p. 240-251, mar. 2017.

ZHANG, D.; LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R.G. The moderating role of contextual factors on quality management practices. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 30, n. 1-2, p. 12-23, jan. 2012.

ZOZOR, S.; PORTESI, M.; VIGNAT, C. Some extensions of the uncertainty principle. **Physica A**, Amsterdam, v. 387, n. 19-20, p. 4800-4808, ago. 2008.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARTHUR, L.J. Quantum improvements in software system quality. **Communications of the ACM**, New York, v. 40, n. 6, p. 46-52, jun. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**: Gestão de riscos – diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/TR 10017**: Guia sobre técnicas estatísticas para a ABNT NBR ISO 9001:2000. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PG-02.32**: Avaliação da conformidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 44 p

BEGES, G.; DRNOVSEK, J.; PENDRILL, L.R. Optimising calibration and measurement capabilities in terms of economics in conformity assessment. **Accreditation and Quality Assurance**, New York, v.15, n. 3, p. 147-154, mar. 2010.

BERNARDO, B.L. **Uma visão contemporânea de alguns conceitos da mecânica quântica**. 2013. 82 f. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

BERNSTEIN, J. **Secrets of the old one**: Einstein, 1905. New York: Copernicus Books, 2006. 200 p.

BLAIKIE, N.W.H. A critique of the use of triangulation in social research. **Quality & Quantity**, Dordrecht, v. 25, n. 2, p. 115-136, may 1991.

BRUNETON, J.P.; LARENA, J. Quantum theory of the generalised uncertainty principle. **Gen Relativ Gravit**, New York, p.49-56, 2017.

BRYMAN, A. Of methods and methodology. **Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal**, Bingley, v. 3, n. 2, p. 159-168, aug. 2008.

BYNUM, W. **Uma breve história da ciência**. Porto Alegre: L&PM, 2014. 238 p.

CHIBENI, S.S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 181-192, jun. 2005.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 220-240, fev. 2002.

DECOURSEY, W.J. **Statistics and probability for engineering applications**. Boston: Elsevier Science, 2003. 396 p.

DIRAC, P.A.M. **Lectures on quantum mechanics**. New York: Dover Publications, 2001. 87 p.

DŹWIAREK, M. Case study of conformity assessment of automated production line. **Journal of KONBiN**, Berlin, v. 13, n. 1, p. 149-164, aug. 2010.

FERMAN, R.K.S. Comércio internacional e mudanças climáticas: o papel da cadeia de avaliação da conformidade. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 2, n. 1, p. 31-44, mai. 2011.

FLAHERTY, M.T. **Global operations management**. New York: Mc Graw-Hill, 1996. 598 p.

FLICK, U.; KARDORFF, E.; STEINKE, I. (ed.). **A companion to qualitative research**. London: SAGE Publications Ltd, 2004. 432 p.

GALLINA, R. **A contribuição da tecnologia industrial básica (TIB) no processo de formação e acumulação das capacidades tecnológicas de empresas do setor metalmeccânico**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GIBBONS, J.D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric statistical inference**. 4th ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. 645 p.

GRAY, J.V.; HANDLEY, S.M. Managing contract manufacturing quality in the presence of performance ambiguity. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 38, p.41-55, sep. 2015.

GRIFFITH, S.B. **A arte da guerra Sun-Tzu**: tradução do original chinês para o inglês. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996. 128 p.

HALES, D.N.; CHAKRAVORTY, S.S. Implementation of Deming's style of quality management: an action research study in a plastics company. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 131-148, sep. 2006.

HAWKING, S.W.; MLODINOW, L. **The grand design**. London: Transworld Publishers, 2010. 251 p.

HORNBY, A.S. **Oxford advanced learner's dictionary of current English**. 7th ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 1780 p.

IBM Corp. **IBM SPSS statistics for Windows, version 25.0**. Armonk, NY: IBM Corp., Released 2017.

KERR, A.W.; HALL, H.K.; KOZUB, S.A. **Doing statistics with SPSS**. London: SAGE Publications Ltd, 2002. 238 p.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 615 p.

KURNIATI, N.; YEH, R.H.; LIN, J.J. Quality inspection and maintenance: the framework of interaction. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 4, p. 244-251, jan. 2015.

LIEPINA, R.; KORABLOVA, L. Market surveillance of toys: situation assessment and improvement. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 156, p. 360-364, nov. 2014.

LI, H.; DING, L. Ground inspection in type inspection report. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 17, p. 339-342, oct, 2011.

MARTINS, M.L.C.; BELCHIOR, J.G. Da probabilidade à racionalidade: um estudo sobre o risco nos processos de avaliação da conformidade. **LIINC em Revista**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 183-194, mar. 2012.

MATHEWS. J.H.; HOWELL, R.W. **Complex analysis for mathematics and engineering**. 3rd ed. Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers, 1997. 484 p.

MCNIFF, J.; WHITEHEAD, J. **You and your action research project**. 3rd ed. New York: Routledge, 2010. 271 p.

MICROSFT CORPORATION. **MS OneDrive, version 2019 (build 19.222.1110.0006)**. Edmond, Washington: Microsoft Corporation, 2019.

MIGUEL, P.A.C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, jan./abr. 2007.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2012. 463 p.

MUMFORD, E. Advice for an action researcher. **Information, Technology and People**, Bradford, v. 14, n. 1, p. 12-27, mar. 2001.

NAKANO, D. Métodos de pesquisa adotados na engenharia de produção e gestão de operações. In: MIGUEL, P.A.C. (ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 65-74.

O'HANLON, T. **Auditoria da qualidade com base na ISO 9001:2000**: conformidade agregando valor. São Paulo: Saraiva, 2005. 202 p.

OLIVEIRA, O.J. (ed.). **Gestão da qualidade**: tópicos avançados. São Paulo: Cengage Learning, 2004. 243 p.

RÉDEI, M.; STÖLTZNER, M. **John von Neumann and the foundations of quantum physics**. Berlin: Springer Science+Business Media, 2001. 371 p.

RUSU, C. From quality management to managing quality. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 221, p. 287-293, jun. 2016.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo**: globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: HUCITEC, 1994, 190 p.

SEYMOUR-SMITH, M. **Os cem livros que mais influenciaram a humanidade**: a história do pensamento dos tempos antigos à atualidade. 5. ed. Rio de Janeiro: DIFEL, 2002. 680 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Edição Compacta. São Paulo: Editora Atlas, 1999. 526 p.

SOUZA, R.D.F. Qualidade como função de tecnologia industrial básica e a inserção competitiva do Brasil no comércio internacional. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 5, n. 3, p. 161-167, dez. 1998.

SU, H.C; LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R.G.; VAN DE VEN, A.H. A comparative case study of sustaining quality as a competitive advantage. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 32, n. 7-8, p. 429-445, jan. 2014.

TEMZELIDES, T. Modeling the act of measurement in the social sciences. **Journal of Mathematical Economics**, Amsterdam, v. 46, n. 4, p. 607-615, jul. 2010.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 165 p.

UPTON, G.; COOK, I. **Dictionary of statistics**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2008. 453 p.

YING, M. A theory of computation based on quantum logic (I). **Theoretical Computer Science**, Amsterdam, v. 344, n. 2-3, p. 134-207, nov. 2005.

ZUBER-SKERRITT, O.; PERRY, C. Action research within organizations and university thesis writing. **The Learning Organization**, Bingley, v. 9, n. 4, p. 171-179, oct. 2002.

APÊNDICE B – Primeiro Artigo Acadêmico sobre FCAUP

Primeira página do artigo de introdução do procedimento FCAUP publicado em set. 2018 no *International Journal of Production Economics*, ISSN 0925-5273, v. 203, p. 394-403.

International Journal of Production Economics 203 (2018) 394–403



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

International Journal of Production Economics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijpe





Framework for conformity assessment based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP)

Celso Francisco de Moraes^{a,*}, Messias Borges Silva^b

^a UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, Brazil
^b Institution: USP – University of São Paulo – School of Engineering of Lorena, Lorena, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
 Conformity assessment
 Framework
 Uncertainty principle analogy
 FCAUP

ABSTRACT

This paper aims to introduce an innovative framework, named FCAUP, for planning and implementing conformity assessment based on a conceptual analogy with Heisenberg's Uncertainty Principle of Quantum Mechanics. Conformity assessment is a very important issue in many different areas, such as, operations and quality management, international trade, sustainable development, and so on. FCAUP means "Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle". This original procedure employs quantitative and qualitative techniques for analysis, classification, purposive sampling and execution of double inspections in order to reduce the uncertainty in conformity assessment activities. Its preliminary evaluation has been performed by means of three simulations regarding conformity assessments in manufacturing industries. Simulation results suggest that FCAUP is a consistent method to be used in several categories of conformity assessment.

1. Introduction – conformity assessment review

Conformity assessment provides several benefits to human activities, due to its importance in a wide range of aspects, such as fair competition, encouragement to quality improvement and sustainable development, environmental responsibility, customer protection, incentive for international trade, valorization of brands and products, and so on. Recent researches explain its relevance (Marsal-Llacuna, 2017; Lüth et al., 2015; Liepina et al., 2014; Theodorou and Zannikos, 2014; Assalim and Almeida, 2013). According to international standard ISO/IEC 17000 (2004a), conformity assessment involves activities to demonstrate the fulfillment of specified requirements by products, processes, systems, personnel or bodies.

As indicated by Fig. 1, conformity assessment comprises three functions that satisfy the need or demand for demonstrating that specified requirements are fulfilled by:

- Selection;
- Determination;
- Review and attestation.

Conformity assessment typically comprises a set of specified requirements, a procedure for assessing the conformity of a product to requirements and a statement to demonstrate that requirements have

been fulfilled (ISO/IEC 17000, 2004a). Furthermore, according to ISO/IEC GUIDE 60 (2004b), there are three types of conformity assessment:

- First-party conformity assessment – activity that is performed by the person or organization that provides the object;
- Second-party conformity assessment – activity that is performed by a person or organization that has a user interest in the object;
- Third-party conformity assessment – activity that is performed by a person or body that is independent of the person or organization that provides the object.

The most common technical procedures to assess conformity in many different areas are inspection, sampling, testing, quality management system assessment and audit. Inspection is defined by ISO 9000 (2015) as "determination of conformity to specified requirements" and a similar definition is given by Juran and Godfrey (1999). Liepina et al. (2014) stated that "conformity assessment is closely related to quality management" and discussions about quality management remain relevant in several areas as pointed out by Cho et al. (2017), Li et al. (2017), Zeng et al. (2017), Rusu (2016), Siva et al. (2016), Suwandej (2015), Gerolamo et al. (2014), Wiengarten and Pagell (2012), Simon et al. (2011), among others. Therefore, there is a strong relationship among conformity assessment, quality management and inspection activities.

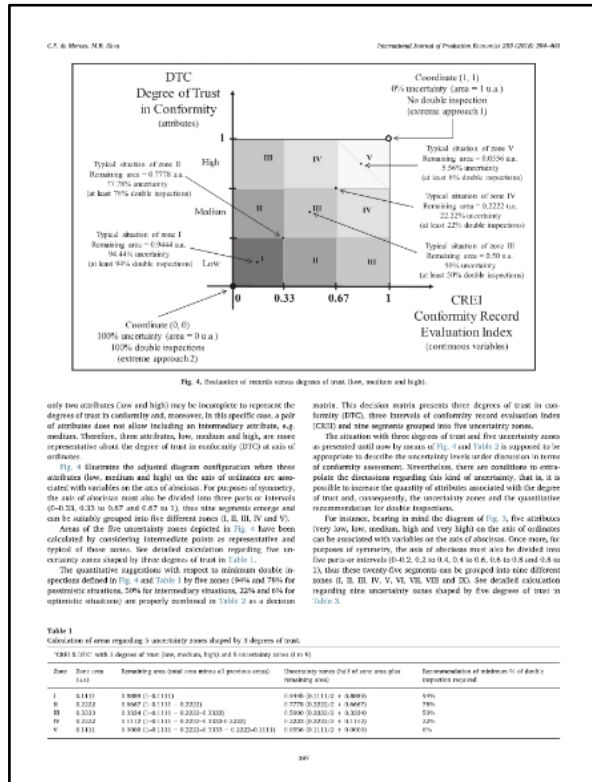
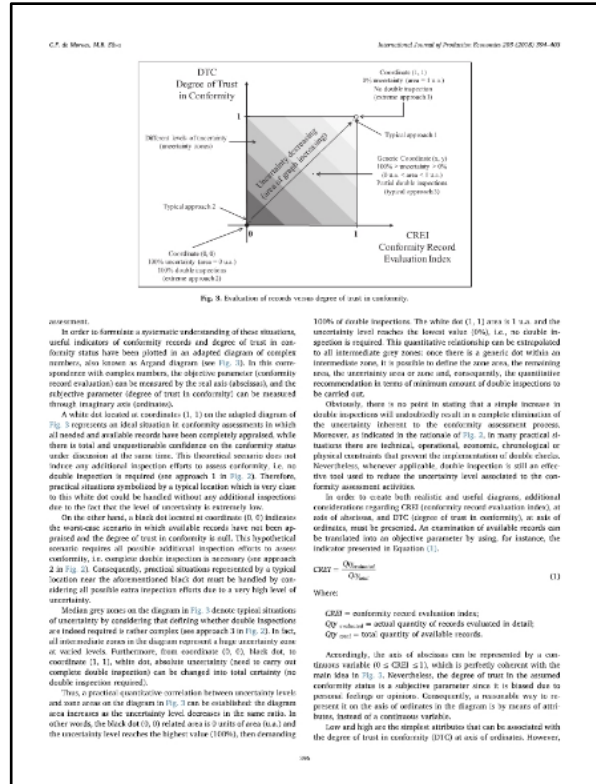
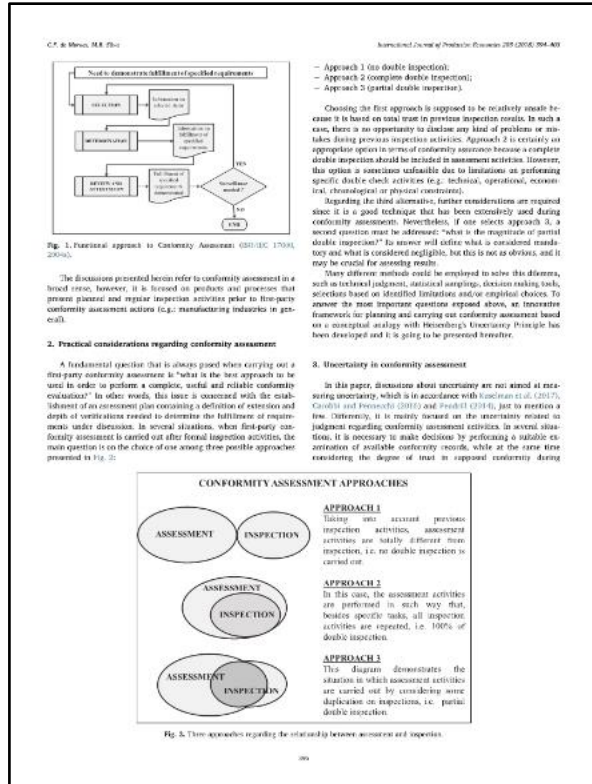
* Corresponding author. UNESP – Universidade Estadual Paulista, Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410 Guaratinguetá, SP, Brazil.
 E-mail addresses: celso.moraes@unesp.br (C.F. de Moraes), messias@dequi.eel.usp.br (M.B. Silva).

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.013>
 Received 24 November 2017; Received in revised form 29 May 2018; Accepted 15 July 2018
 Available online 17 July 2018
 0925-5273/ © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

(continua)

APÊNDICE B – Primeiro Artigo Acadêmico sobre FCAUP (continuação)

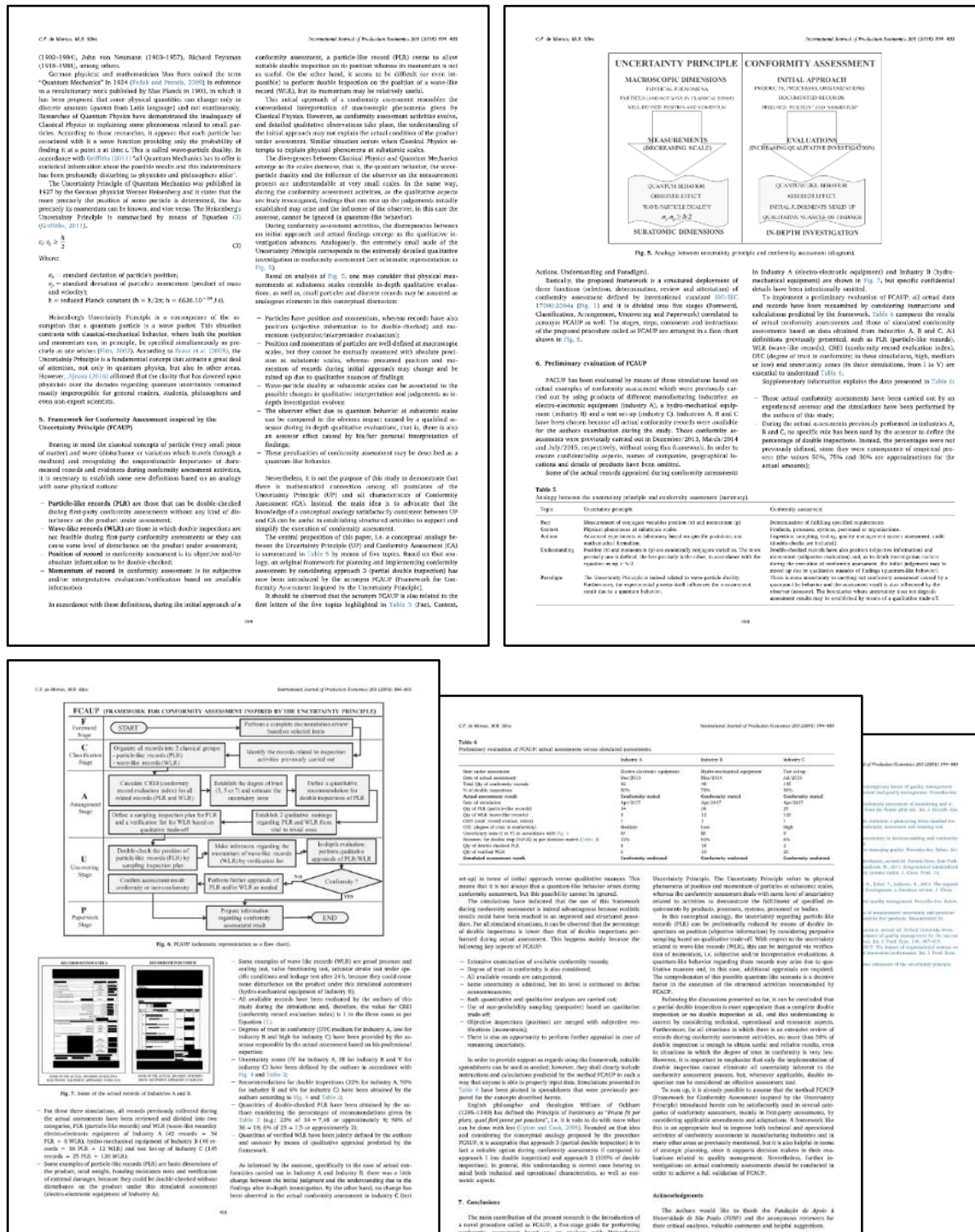
Visualização parcial do artigo publicado em set. 2018 no *International Journal of Production Economics*, ISSN 0925-5273, v. 203, p. 394-403 (da segunda à quinta página).



(continua)

APÊNDICE B – Primeiro Artigo Acadêmico sobre FCAUP (conclusão)

Visualização parcial do artigo publicado em set. 2018 no *International Journal of Production Economics*, ISSN 0925-5273, v. 203, p. 394-403 (da sexta à décima página).



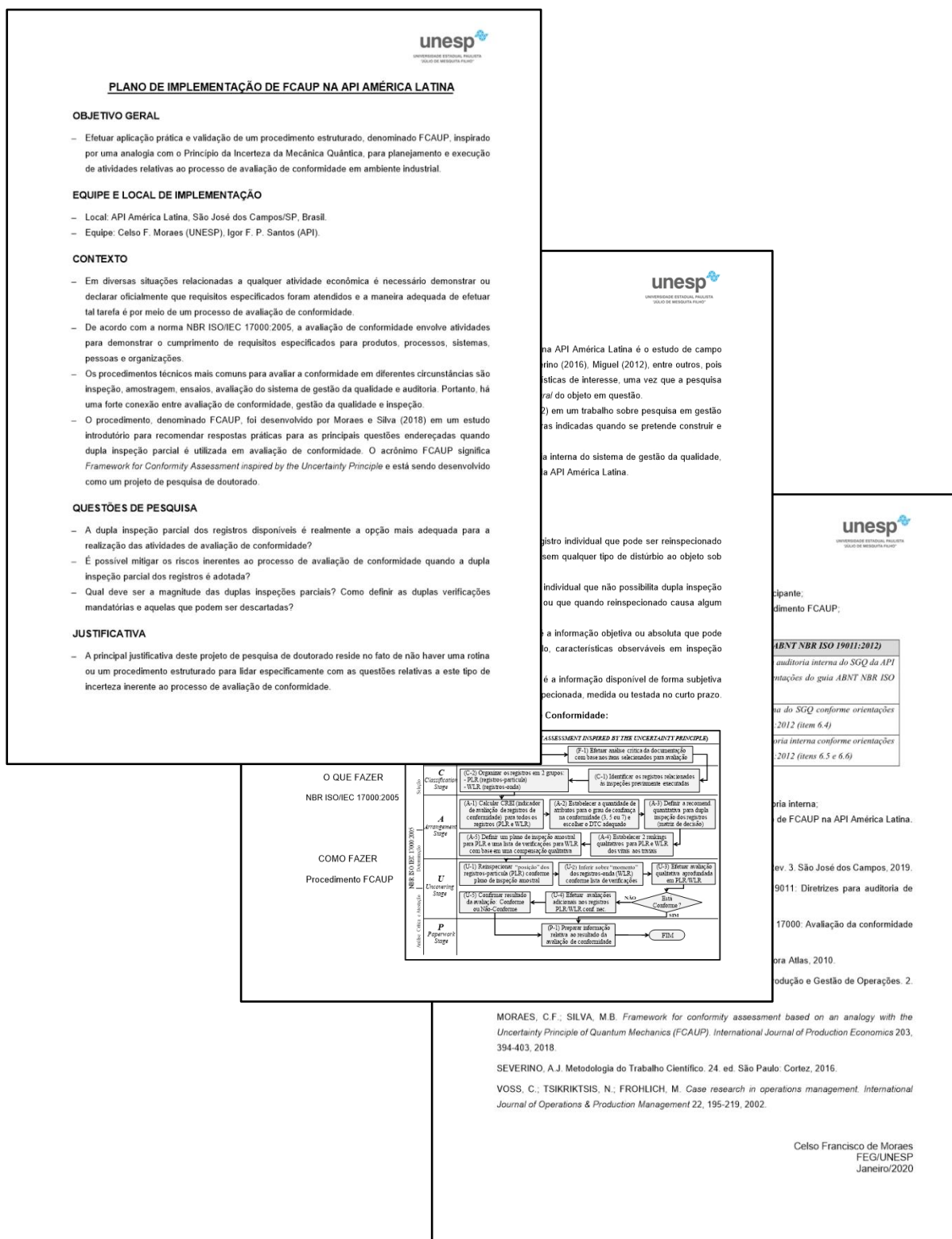
APÊNDICE C – Plano de Implementação de FCAUP na Boatmate Trailers

Visualização do plano de implementação piloto do procedimento FCAUP na empresa Boatmate Trailers em Maryville, Tennessee/EUA.

 THE UNIVERSITY OF TENNESSEE KNOXVILLE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL & SYSTEMS ENGINEERING  unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JOÃO DE MESQUITA FILHO" FCAUP IMPLEMENTATION PLAN GENERAL OBJECTIVE – Develop a structured procedure, inspired by an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics, for planning and performing conformity assessment activities in manufacturing industries. TEAM AND PLACE OF IMPLEMENTATION – Place: Boatmate Trailers, Maryville/TN, United States of America. – Team: Celso F. Moraes (UNESP and UTK), Daniel Luby, Alex Ransom, Heather West (Boatmate). CONTEXT – In several situations related to any economic activity is necessary to officially demonstrate or state that specific requirements have been fulfilled and the correct way to do this is by means of a conformity assessment process. – According to standard ISO/IEC 17000 (2004), conformity assessment involves activities to demonstrate the fulfillment of specified requirements by products, processes, systems, personnel or bodies. – The most common technical procedures to assess conformity in many different circumstances are inspection, sampling, testing, quality management system assessment and audit. Therefore, there is a strong connection among conformity assessment, quality management and inspection activities. – The framework, named FCAUP, has been developed by Moraes and Silva (2018) in an introductory study in order to recommend practical answers for the main questions addressed when partial double inspection is chosen. The acronym FCAUP means "Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle" and it is being developing as a doctoral research project. RESEARCH QUESTIONS – Is partial double inspection the best option to carry out conformity assessment activities in manufacturing industries and laboratories? – What is the magnitude of partial double inspection? What is mandatory and what is considered negligible? – Is it possible to mitigate the uncertainty effects (risks) related to judgment regarding conformity assessment activities? JUSTIFICATION – The main reason of this research project is because there is no procedural support to answer the questions exposed above during the conformity assessment planning. METHOD AND STRATEGIES – The implementation of FCAUP shall be carried out by means of "action research" (AR), an action-oriented research approach in Production and Operations Management (POM) based on 525 John D. Tickle Building Knoxville, TN 37996 Phone: (865) 974-3333 fax: (865) 974-0588 www.ise.utk.edu Big Orange. Big Ideas.	 unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JOÃO DE MESQUITA FILHO" iven by Coughlan and Coughlan (2002), Mello et al. (2012), Westbrook e-step (to understand context and purpose), six main steps (to gather/feed n/Implement/evaluate action), and a meta-step to monitor all steps. BOATMATE f FCAUP method, discussions regarding objectives, data gathering. garding production process and quality gates, confirmation of applicability. BOATMATE production flowchart, FCAUP implementation (first draft and try-out). FCAUP as operational guideline for clearance of final product. AUP during dealer's acceptance. BOATMATE s in conformity assessment regarding clearance of final product. o report the FCAUP implementation at Boatmate Trailers.
	MAIN REFERENCES Coughlan, P.; Coughlan, D., 2002. Action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 220-240. International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, 2004. ISO/IEC 17000:2004: Conformity Assessment – Vocabulary and General Principles. Genève, Switzerland. Juran, J.M., Godfrey, A.B. (Org.), 1999. Juran's Quality Handbook, 5th ed. New York: McGraw-Hill, Inc. Mello, C.H.P.; Turrioni, J.B.; Xavier, A.F.; Campos, D.F., 2012. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. Produção, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 1-13. Moraes, C.F.; Silva, M.B., 2018. Framework for conformity assessment based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP). International Journal of Production Economics 203, 394-403. Westbrook, R., 1995. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. International Journal of Operations & Production Management, v.15, n. 12, p. 6-20, dec. 1995. Celso Francisco de Moraes FEGUNESP (São Paulo State University) Visiting Scholar at University of Tennessee Mar/2019 525 John D. Tickle Building Knoxville, TN 37996 Phone: (865) 974-3333 fax: (865) 974-0588 www.ise.utk.edu Big Orange. Big Ideas.

APÊNDICE E – Plano de Implementação de FCAUP na API América Latina

Visualização do plano da aplicação prática do procedimento FCAUP na empresa API América Latina em São José dos Campos/SP.



APÊNDICE G – Segundo Artigo Acadêmico sobre FCAUP

Resumo do artigo relativo à aplicação prática do procedimento FCAUP submetido em mar. 2020 junto ao TQM Journal (ISSN 1754-2731) com o título “*Implementation of FCAUP – framework for conformity assessment inspired by the Uncertainty Principle*”.

Page 1 of 60

The TQM Journal

Manuscript ID TQM-03-2020-0053

Implementation of FCAUP – framework for conformity assessment inspired by the Uncertainty Principle

Abstract

Purpose – The purpose of this paper is to report the first practical applications of FCAUP (Framework for Conformity Assessment inspired by the Uncertainty Principle) carried out by means of a pilot implementation in a boat trailer manufacturer industry in Maryville, Tennessee, USA and a practical application in a metrology company in São José dos Campos, São Paulo, Brazil.

Design/methodology/approach – Field studies have been conducted in two different companies: a pilot implementation during the preparation activities of the acceptance inspection of boat trailers at Boatmate Trailers, LLC and a practical application during the internal audit related to quality management system at API América Latina.

Findings – 1) partial double inspection is advantageous in conformity assessment; 2) a structured procedure tends to reduce the risks arising from the use of partial double inspection; 3) the recommended amount of double inspections is directly proportional to the uncertainty involved in the process and it is inversely proportional to the degree of trust in a presumed conformity status.

Research limitations/implications – Manufacturing industries and laboratories.

Practical implications – The results of these practical applications suggest that FCAUP is a consistent method to be used in several categories of conformity assessment.

Originality/value – This new framework, named FCAUP, for planning and executing conformity assessment activities has been introduced in a theoretical study published by Moraes and Silva (2018) and it is based on an analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics.

Keywords – FCAUP, conformity assessment, uncertainty principle analogy, acceptance inspection, audit of quality management system.

Paper type – Research paper.

APÊNDICE H – Apresentação da Pesquisa na Universidade de Harvard

Folha de rosto e visualização de trechos da apresentação sobre o procedimento FCAUP efetuada em maio de 2019 para o grupo de pesquisa do Prof. Dr. Eric Mazur, físico e pesquisador da Universidade de Harvard em Cambridge, Massachusetts/EUA.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Guaratinguetá

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá



Framework for Conformity Assessment based on an Analogy with the Uncertainty Principle of Quantum Mechanics (FCAUP)

Celso Francisco de Moraes, MSc.

Ind. Engineer, ASQ/Certified Quality Auditor, PhD. Student at UNESP/Brazil



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Collaborative Research



THE UNIVERSITY OF
TENNESSEE
KNOXVILLE

Doctoral Supervisor: Dr. Messias B. Silva
São Paulo State University (UNESP/Brazil)

Short-Term Sup.: Dr. Rapinder S. Sawhney
University of Tennessee-Knoxville (UTK/USA)

Presentation at Harvard University, Cambridge-MA/USA, May 29th, 2019

MAIN TOPICS



- INTRODUCTION: CONFORMITY ASSESSMENT (CA)
- CONFORMITY ASSESSMENT IN INDUSTRY
- DISCUSSIONS ON CONFORMITY ASSESSMENT
- RESEARCH QUESTIONS AND OBJECTIVES
- THE UNCERTAINTY PRINCIPLE (UP)
- ANALOGY BETWEEN "UP" AND "CA"
- UNCERTAINTY IN CONFORMITY ASSESSMENT
- DECISION MATRICES (DOUBLE INSPECTIONS)
- FCAUP: OVERVIEW, FLOW CHART AND SPREADSHEETS
- PRELIMINARY RESULTS AND NEXT STEPS
- MAIN REFERENCES
- FINAL COMMENTS



Celso F. Moraes May/2019 2021

UNCERTAINTY PRINCIPLE (QUANTUM MECHANICS)



It is impossible to know precisely the position of some particle is and at the same time know precisely its momentum can be vice-versa" (Heisenberg, 1927)

Position and momentum are canonically conjugate

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$$

deviation of particle's position
deviation of particle's momentum ($p = m \times v$)

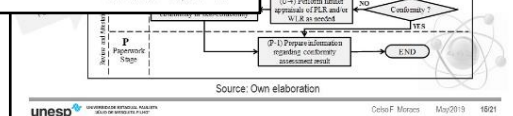
$\hbar$ = reduced Planck constant ($\hbar = h/2\pi$; $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$)

Source: Griffiths (2016)



Werner Heisenberg
(1901-1976)

NOTE: Contributions from Mazur's group are welcome!



ANEXO A – Exemplo de Registro Real da Empresa A

Exemplo de registro real da empresa com codinome A que foi uma das referências utilizadas durante a verificação teórica do procedimento FCAUP. O nome da empresa, a localização geográfica e os detalhes do equipamento eletroeletrônico foram intencionalmente omitidos.

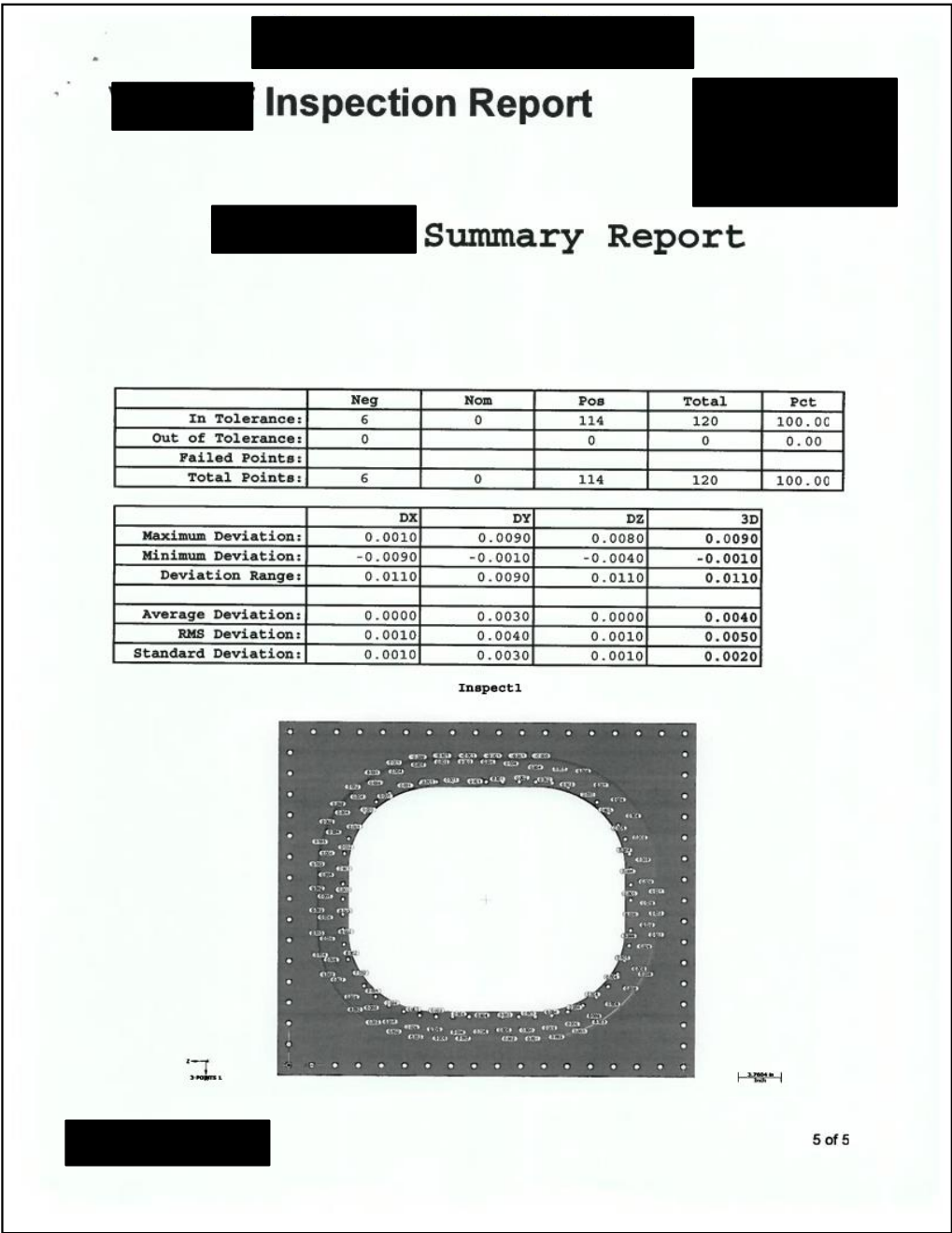
Parte dos registros reais de um equipamento eletroeletrônico da empresa A (avaliação de conformidade realizada em dez. 2013)

TEST	DESIRED VALUE	TEST RESULT
3.1.3 Visual Inspection	passed	
3.1.4 Connector Coding	passed (upon request)	
3.1.5 Weight	≤ 7.0 kg	kg
3.1.6 Identification Plate Check	passed	
3.1.7 Insulation Resistance Test	$\geq 5400 \Omega$	Ω
3.1.8 Bonding Resistance Test		
(1) bonding point	≤ 10 m Ω	m Ω
(2) screw right top	≤ 10 m Ω	m Ω
(3) screw left top	≤ 10 m Ω	m Ω
(4) A104	≤ 10 m Ω	m Ω
(5) screw right middle	≤ 10 m Ω	m Ω
Date:	02.12.13	
Sign (3.1.3... 3.1.8):		
3.1.9 Hardware Item Test	passed	
3.1.10 Serial / Part Number		
Channel A	passed	
Channel B	passed	
Safety Part	passed	
3.1.11 Load and Verify Software (Optional)		
Channel A	passed (upon request)	
	passed (upon request)	
	passed (upon request)	
DATE	02.12.13	

ANEXO C – Exemplo de Registro Real da Empresa C

Exemplo de registro real da empresa com codinome C que foi uma das referências utilizadas durante a verificação teórica do procedimento FCAUP. O nome da empresa, a localização geográfica e os detalhes da instalação para ensaios foram intencionalmente omitidos.

Parte dos registros reais de uma peça crítica de um dispositivo de ensaio utilizado na configuração de uma instalação para ensaios na empresa C (avaliação de conformidade realizada em jul. 2015)



ANEXO D – Exemplos de Registros da Boatmate Trailers

Visualização parcial de alguns registros da empresa Boatmate Trailers de Maryville/TN, EUA. Alguns detalhes foram intencionalmente omitidos para garantir a preservação de aspectos estratégicos e de segurança da informação.

BOATMATE
MARINE LTD.

Production Floor Traveler
Job Order 59022-0000

Date: 09/20/2018
Time: 10:34:51
Page # 1
Sales Order 076917

Trailer ID: [REDACTED]

Part Number: G23(16-)TA101N
Production Date: 09/20/2018
Green Tag Due Date 09/25/2018

Customer: [REDACTED]

Nautique 2019 G23(16-), Tandem Axle, 18in wheels
VIN: 5A78B232XKT001403
Model #: 2320021
Design Options: 3 Step Standard Bow Ladder

Axle Type:	Torsion Axle	Front Step:	NAUTIQUE 30" backlit
Tongue Type:	Cast Pivot Swing	Rear Step:	39" No Logo No Light Holes
Fender Type:	Painted with Valance	Transom Step:	2017 Transom Step
Grip Fenders:	Mocha Brown w/Logo	Tail Light 1:	Fusion Light Colored Lens
Grip Steps:	Mocha Brown	Tail Light 2:	Fusion Light Colored Lens
Grip Tongue:	Mocha Brown	ID Lights:	5 Red 4 Amber colored Lens
Grip B.L:	Mocha Brown	Trile Rings:	None
Jack:	1800# DL SQ w/wheel	Plug:	7-Round
Winch:	Covered 1500#DL	Guides:	Removable Guide Poles
Tie Downs:	Star Brite w/Logo	Bow Stop:	Rollers
Safety Attach:	7/11N Cables		

Add'l Options: white Runway Lights

Wheels: Yard Wheels
Spare Mount: Underhull Mount
Spare Wheel: None

Trailer Painting Details:
Frame Color: Mystic White 868077EZ
Two-Tone Color: Reef Blue 863361EZ Location: - Steps - - Guide Poles - - Fenders -

****Special Instructions: BUNK FOR 18" WHEELS ONLY- NO WHEELS/TIRES ON TRAILER BUNK FOR 18" WHEELS**

por Traveler		Date: 09/20/2018
59022-0000		Time: 15:34:51
		Page # 2
Sales Order 076917		

8175.01lbs		
WELD QC	FINAL QC	
WELD QC	FINAL QC	
es on PG.		
WELD QC	FINAL QC	
-30" 25.40, B=33.5" 7", 90°FL/17.5°PGCH 7"FL/72" 7"FL/72" 17"FL/62°OC9" Build Specs Frop Guard PG Brace CM Standard (No Light Holes) Standard (No Light Holes) Standard (No Light Holes)		
Descc: 42S - 1.5"X 3"X 1/8" X 42" Descc: FLAT 1/4"X 3"X 45" WITH 2" BEND		
WELD QC	FINAL QC	
on 27, 27 on 30, 30 * ST (20,30)		
WELD QC	FINAL QC	
with 4" drop down plate		
behind bow cap weld		

Floor Traveler		Date: 09/20/19
der 59022-0000		Time: 10:34:51
		Page # 4
		Sales Order 076917

RIG ST3 _____ FINAL QC _____
 erhang - Carriage Bolts @ 3-1/2", 40-1/4", and 93-1/4"
 overhang - Carriage Bolts @ 4-1/2", 57-1/4", 100".

WELD QC _____ FINAL QC _____
 Ker!!!
 RS ON TRAILER

WELD QC _____ RIG ST1 _____ FINAL QC _____

RIG ST1 _____ FINAL QC _____
 / Syntek Brown - Fenders - 18IN STRAIGHT TA With

wn - RS Size: 39in, FS Size: 30in, 2017 Transom Piece
 wn - Tongue Pieces
 adder BL-03

WELD QC _____ RIG ST2 _____ FINAL QC _____
 ns 60-1087
 60-1087
 Red 60-1072, Qty 5

WELD QC _____ RIG ST2 _____ FINAL QC _____

WELD QC _____ RIG ST2 _____ FINAL QC _____

Location: On PG Drop - C/L 4'' Down

WELD QC _____ RIG ST2 _____ FINAL QC _____

QUALITY CHECK LIST FOR TRAILER WELD OPERATION

Trailer No: 1453 Bay No: 2 Date: 9/20

Tacking

Pre-Tacking (Check Before Tacking)

- | | |
|--|--|
| ☒ Correct Build Sheet (Front & Rear) | ☒ Correct Actuator |
| ☒ Frame Length Ang Bend Mark Measurement | ☒ Safety Cable Ears & Tongue Shoe |
| ☒ Tongue Size (4", 6", 8") | ☒ Correct Fenders & Poles |
| ☒ Tongue Length <u>4"</u> | ☒ Stop Locations |
| ☒ Correct Bow Stop (Length, Angle, & Yoke) | ☒ Axle Bracket Locations |
| ☒ Correct Steps (Check For Options) | ☒ Crossmember Locations |
| ☒ Correct Crossmember (Depth And Lengths) | ☒ Check Production Sheet For Options
(Runways, Spare Mount, Transom Steps, Etc) |

Checked by: 24
Tacker 1, Tacker 2

Post-Tacking (Check After Tacking Trailer Together)

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Correct Fenders & Poles | All Holes Cut And Counted For |
| Straight or hinged tongue welds | AP Steps Level |
| Actuator Number <u>1876</u> | Correct Fender Pad Braces Installed |
| Spot Jack Plate | Assume Flange Brackets Installed |
| Spot mount (if required) | Roller Tabs Installed (If Required) |
| Guard Welds | Web Strap Bracket |
| Up Down Bracket Location | Spot Stud Set Up (If Required) |
| Correct Bunk Bracket Jigs | Monorail Tabs Welded |
| Bunk bracket jigs in order (1,2,3,4,5) | Flat Bar Welds (inside the box) |
| Correct Trailer Vin # (On Tongue) LR Step For Galv | |

Checked by: JY
Tacker 2

© 2009 MasterQC Check List For Trailer Tackling.com

QUALITY CHECK LIST FOR TRAILER WELD OPERATION

Welding

WELD QC CHECK (Check before tacking welding together)

- ☒ Correct Jack Plate & Options
☒ Correct Trailer Vin # (Go To Longback) LR Step For Gal (Spare mount, Runways, Reverse Lights, Etc.)
☒ All Wire & Drain Holes
☒ Correct Fender Pad Braces
- Correct Bracket Locations
 Assembly Locations
 Correct Steps (Front & Rear)
 Correct Actuator 3087
- Made by: CT DH

Checked By: Welder 1 & Welder 2

T-WELD QC CHECK (Check After Trailer Is Complete)

- | | | |
|---|---|---|
| ✓ | ✓ | 42" Welds |
| ✓ | ✓ | Flat Bar Welds |
| ✓ | ✓ | Angle Hanger & Plate Welds |
| ✓ | ✓ | Asile Bolts Tightened |
| ✓ | ✓ | LD, Light Holes Centered & Drilled |
| ✓ | ✓ | Actuator Bolt Tightened (Unless Galvanized) |
| ✓ | ✓ | Monorail Tension Welded Completely |
| ✓ | ✓ | Check Publication Sheet For Options |
| ✓ | ✓ | Sign Off Production Sheet |

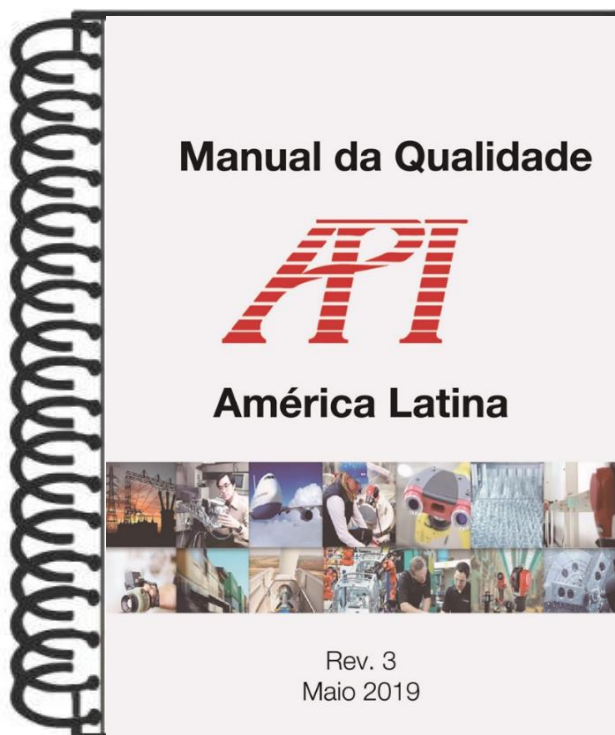
ed by: OT DH
Welder 1 & Welder 2

ed By: DH
Group Leader

U. Tony Majors QC Check List For Trailer Welding page 2 of 2

ANEXO E – Exemplos de Registros da API América Latina

Visualização parcial de alguns documentos do sistema de gestão da qualidade da API América Latina de São José dos Campos/SP. Alguns dados foram intencionalmente omitidos para garantir a preservação de aspectos estratégicos e de segurança da informação.



REGISTRO
Processo de Qualidade

Programa de Auditoria Interna

Nº de Ref.: RPQ-014/2020
Data: 09/01/2020

RESPONSÁVEL: [REDACTED]
DOCUMENTO REF.: Manual da Qualidade API (vers. Nº API-PQ-0000, Rev.3)
DISTRIBUIÇÃO: [REDACTED]

OBJETIVOS DO PROGRAMA DE AUDITORIA INTERNA
Fazer avaliação do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) da API América Latina no início de ano de 2020 (1ª auditoria interna), fornecendo os subsídios para a realização da Análise Crítica do SGQ (Direção), bem como para reuniões de segunda parte (clientes) e auditorias de terceira parte (órgãos certificadores).
A auditoria interna será realizada em 2 partes com apoio da empresa CPQA Assessoria em Qualidade:
1) Auditoria dos processos de apoio – Marketing e Gestão do relacionamento com Clientes (PA-1), Gestão de Recursos Humanos (PA-2), Gestão Administrativa e Financeira (PA-3), Gestão da Cadeia de Suprimentos (PA-4);
2) Auditoria dos processos operacionais – Serviços de Medição e Demonstração (PO-1), Venda e Locação de Equipamentos (PO-2), Serviços de Calibração e Manutenção (PO-3), Treinamento Operacional (PO-4), Suporte Técnico (PO-5).

ABRANGÊNCIA DO PROGRAMA DE AUDITORIA (incluindo subsídios de localização)
Conforme Item 3.5 do Manual da Qualidade Rev.3 (Avaliação de SGQ).

CRITÉRIOS DE AUDITORIA
Requisitos da norma NBR ISO 9001:2015.

MÉTODOS DE AUDITORIA
Análise crítica da documentação, avaliação amostral por meio de visitas aos locais de trabalho, observação de trabalho realizado e entrevistas com funcionários baseadas em listas de verificação.

EQUIPE AUDITORA (os auditores não devem auditar suas próprias atividades para garantir a imparcialidade)
[REDACTED]

RECURSOS NECESSÁRIOS
Contratação da empresa CPQA Assessoria em Qualidade (já efetuada) para suporte às atividades relativas à manutenção do SGQ da API América Latina no período da auditoria interna.

Código do Formulário: FPQ-1-68 Data: 30/04/2019 1

Código do Formulário: FPQ-1-68 Data: 30/04/2019 2

Automated Precision Metrologia Aplicada LTDA
http://www.apisensor.com/pt/

Ordem de Serviço Nº [REDACTED]
CNPJ: 17.238.474/0001-79
Inscrição Estadual: 045-402.761-119
Inscrição Municipal: 307782
Rua Jaguaré, 777
Chácara Reunidas
São José dos Campos - SP - CEP: 12228-410
Telefone: (12) 3209-0675

Informações do Cliente
Contato: [REDACTED]
CNPJ: [REDACTED]
São José dos Campos - SP - CEP: [REDACTED]
Endereço: [REDACTED]

Lista dos Serviços

Descrição do Serviço	Quantidade
CALIBRAÇÃO SEM CUSTO AO CLIENTE	1,00
PA: 10030	
SN: 50182	

Outras Informações
Ordem de Serviço incluída em: 10/06/2019 às 11:25:57
Previsão de Faturamento: 18/02/2019
Vendedor: [REDACTED]
DATA INÍCIO: 10, 06, 19
HORÁRIO INÍCIO: 08:00
TOTAL DE HORAS TRABALHADAS: [REDACTED]
DATA TÉRMINO: 20, 06, 19
HORÁRIO TÉRMINO: 18:00
EXECUTADO POR: [REDACTED]
APROVAÇÃO POR: [REDACTED]

Gerado em: 10/06/2019 às 11:27:18 por Carolina Góes
Página: 1 de 1

API
NOTHING BEYOND MEASURE

RELATÓRIO DIMENSIONAL
Dimensional Report

Relatório número: [REDACTED] Cliente: [REDACTED] Data da medição: [REDACTED]
Nome da peça: [REDACTED] Código desenho/revisão: [REDACTED]
Part name: [REDACTED] Drawing/revision code: [REDACTED]
Equipamento: [REDACTED] Inscritor: [REDACTED]
Equipment: [REDACTED] Location: [REDACTED]
Resultado: [REDACTED]
Result: [REDACTED]
Observação: [REDACTED]
Observation: [REDACTED]



Medido e analisado por: [REDACTED]
Measured and analyzed by: [REDACTED]

API Latin América

API
APIMETROLOGY.COM
R. Jaguaré, 777, Chácara Reunidas, São José dos Campos-SP Brasil
Telefone: + 55 12 3209-0675 - contato@apisensor.com

ANEXO F – Declaração sobre Doutorado Sanduíche na UTK

Declaração do Departamento de Engenharia Industrial e de Sistemas da Universidade do Tennessee, Knoxville/TN, EUA, referente ao período de seis meses como pesquisador visitante sob a supervisão do Prof. Dr. Rapinder S. Sawhney.



June 04th, 2019.

To whom it may concern:

This is to attest that Mr. Celso Francisco de Moraes, graduate student at São Paulo State University, Guaratinguetá campus (FEG/UNESP), carried out part of his Doctoral degree in Mechanical Engineering as Visiting Scholar at the Department of Industrial & Systems Engineering of the University of Tennessee, Knoxville (ISE/UTK) with personnel number 381196 (TN ID 933672282) from December 05th, 2018 to June 04th, 2019.

During this 6-months period, he conducted a supervised collaborative research under the project entitled "Framework for Conformity Assessment based on an Analogy with the Uncertainty Principle" and accomplished the following main activities:

- Auditing on classes regarding the graduate course "Reliability in Lean Systems";
- Review and additional research on essential topics related to the theoretical foundation of the project, such as Production and Operations Management, Conformity Assessment and Research Methodology;
- Implementation of FCAUP, a new framework for conformity assessment, in acceptance inspection activities regarding finished products at Boatmate Trailers LLC in Maryville/TN by means of action research, an action-oriented research approach;
- Elaboration, as main author, of an academic paper entitled "Practical application of FCAUP: A framework for conformity assessment inspired by the Uncertainty Principle" to be completed and submitted for publication in the International Journal of Production Economics (ISSN: 0925-5273) or in other indexed journal with similar scientific relevance.

Sincerely,

Rapinder S. Sawhney

Professor, Health Fellow of Business and Engineering and Program Director

Industrial & Systems Engineering
851 Neyland Dr. 525 John D. Tickle Building Knoxville, TN 37996
Phone: (865) 974-3333 fax: (865) 974-0588 www.ise.utk.edu

Big Orange. Big Ideas.