



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## O estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade em Sistemas de Medição: Revisão Sistemática da Literatura

Rogério Santana Peruchi  
Williane de Oliveira Silva Soares  
Nathália Nunes de Melo  
Sandra Naomi Morioka  
Marcel de Góis Pinto

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**Resumo:** A qualidade da mensuração de peças dentro de uma organização influencia diretamente no controle estatístico do processo. A assertividade das medições de um sistema determina se a variabilidade total ( $\sigma_{Total}^2$ ) é acarretada pelo processo ( $\sigma_p^2$ ) ou pelo sistema de medição ( $\sigma_{GR\&R}^2$ ), evitando ajustes desnecessários no processo. Este artigo trata de uma revisão sistemática da literatura, que tem o objetivo de avaliar as principais contribuições do método *Gauge R&R* na Análise do Sistema de Medição (MSA). Para tanto, foi realizado uma busca na literatura disponível sobre as publicações de impacto nessa área de estudo, por meio da *Web of Science* SCI. Determinados os critérios de elegibilidade da pesquisa, após a análise dos artigos, foram selecionados 48 publicações para compor a amostra final. Os resultados trazem a análise descritiva dos dados e os diferentes setores que a o MSA é aplicada.

**Palavras-chave:** Análise do Sistema de Medição, *Gauge R&R*, Revisão Sistemática da Literatura.

## The GR&R Method in Measurement Systems: A Systematic Literature Review

**Abstract:** The quality of the measurement of parts within a directly managed in the statistical control of the process. The assertiveness of measurements in a system determines whether the total variability ( $\sigma_{Total}^2$ ) is caused by the process ( $\sigma_p^2$ ) or by the measurement system ( $\sigma_{GR\&R}^2$ ), avoiding unnecessary adjustment in the process. This article deals with a systematic review of the literature, which aims to evaluate the main contributions of the *Gauge R&R* method in the Analysis of the Measurement System (MSA). To this end, a search was made in the available literature on publications of impact in this area of study, through the *Web of Science* SCI. After determining the research eligibility criteria, after analyzing the articles, 48 publications were selected to compose the final sample. The results bring a descriptive analysis of the data and the different sectors to which the MSA is applied.

**Keywords:** Análise do Sistema de Medição, *Gauge R&R*, Systematic literature Review .

### 1. Introdução

As organizações têm se preocupado cada vez mais com a qualidade da mensuração dos dados. A análise estatística dos dados é utilizada no controle estatístico da qualidade, para comprovar se os processos estão dentro de um padrão estabelecido ou se as variáveis tem correlação entre si (AIAG, 2010). A Análise do Sistema de Medição (MSA), de acordo com Peruchi et al. (2014), Al-Refaie e Bata (2010), Yeh e Sun (2013), possibilita o controle estatístico da qualidade, permite avaliar a influência do erro de medição na variação dos processos de fabricação e quantificar a exatidão, precisão e estabilidade de um sistema de medição (SAIKAEW, 2018).

A MSA auxilia na quantificação da capacidade de um medidor ou dispositivo de medida, no intuito de gerar dados que deem suporte a tomada de decisão (MAJESKE, 2008), a mesma pode ser realizada em praticamente qualquer tipo de indústria de manufatura (PERUCHI et al., 2014). Podem ser aplica técnicas estatísticas de gerenciamento e lógicas de controle no processo de mensuração (AIAG, 2010).

O erro do sistema de medição pode ser categorizado em Erro Sistemático (Bias e Linearidade) e Erro Aleatório (Repetibilidade e Reprodutibilidade – R&R). Os estudos de *Gauge* R&R podem ser classificados como aninhados (ensaios de destrutivos), cruzados (ensaios não destrutivos) e expandidos (acima de dois fatores) (AIAG, 2010).

O estudo cruzado, geralmente mais utilizado, ocorre quando cada operador mede cada peça e esse procedimento é repetido diversas vezes. O estudo aninhado se caracteriza pela exclusividade das partes para cada operador, ou seja, dois operadores nunca medem a mesma parte. Por fim, o estudo de GR&R expandindo é um estudo cruzado que apresenta fatores fixos ou aleatórios adicionais (além de peças e operadores), o mesmo também pode analisar fatores cruzados e aninhados (ALMEIDA et al., 2018).

Comumente os métodos de Análise de Variância (ANOVA) e Média e Amplitude são utilizados para avaliar a capacidade dos sistemas de medição nos estudos de *Gauge* R&R univariado (WANG; CHIEN, 2010), (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003). Entretanto, o método Anova é mais recomendado, pois estima as variâncias mais precisamente e obtém uma maior quantidade de informações, por meio da interação entre operador e peça (AIAG, 2010)

Com relação ao estudo de *Gauge* R&R multivariado, estão o método MANOVA (MAJESKE, 2008), a Análise de Componentes Principais – PCA (WANG; YANG, 2007) e a Abordagem de Componentes Principais Ponderados-WPC (PERUCHI et al., 2013)

O estudo de *Gauge* R&R utilizando o métodos ANOVA é observado em diversas áreas, tais como torneamento de aço e alumínio (SAIKAEW, 2018), (PERUCHI et al., 2014), controle de qualidade de alimentos (ZHU et al., 2014), indústria automotiva (CEPOVA et al., 2018), (CHEN; WU; CHEN, 2008), Ortodontia (ZUBIZARRETA-MACHO et al., 2020).

Na literatura estudada apenas Burdick; Borrór e Montgomery (2003) elaboraram uma revisão dos métodos utilizados para avaliar a capacidade de um sistema de medição. Nesse contexto, se revela necessário uma análise mais aprofundada, identificando as principais características dos Sistemas de Medição e as áreas que apresentam maior concentração de publicações. Logo, esse artigo tem como objetivo elaborar uma revisão sistemática e identificar na literatura a aplicação do método *Gauge* R&R nos sistemas de medição.

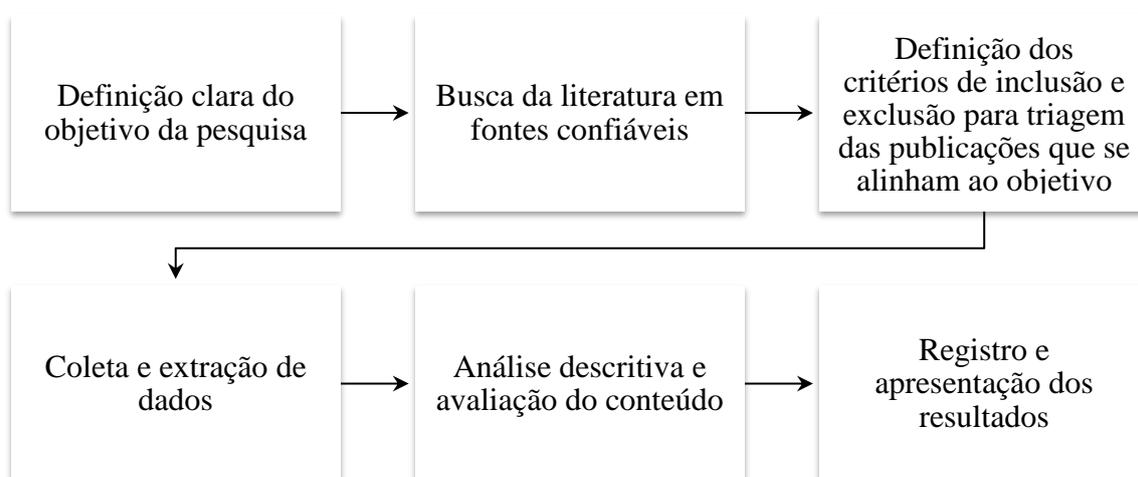
## 2. Procedimentos Metodológicos

A revisão sistemática adota um processo científico transparente e reprodutível, identificando as principais contribuições científicas para um campo ou questão. (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003)

A RSL enquadra-se como uma pesquisa mista explanatória, de acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória tem o objetivo de desenvolver e esclarecer conceitos, tendo em vista a formulação de problemas para estudos posteriores. A mesma utiliza métodos quantitativos na primeira instância e posterior análise de conteúdo qualitativa, o que a caracteriza como método misto segundo Sampieri, Collado e Lucio (2013).

As revisões sistemáticas requerem uma análise cuidadosa da qualidade, quantidade e consistência dos resultados da pesquisa. (MOHER et al., 2009). O protocolo de revisão da literatura seguiu as seguintes etapas (Figura 1):

Figura 1 – Etapas da RSL



Fonte: Adaptado de Irwig et al. (1994) e Dinnes et al. (2005)

A primeira etapa, descrita no fluxograma apresentado na Figura 1, trata da formulação clara da pergunta-chave que direciona as buscas da pesquisa. Consecutivamente, a etapa dois corresponde às buscas por referências na literatura. A amostra inicial foi retirada do EndNote Web por meio da base de dados *Web of Science* SCI que permite o acesso às informações bibliográficas, resumos de autores e referências citadas de publicações de impacto em periódicos científicos diversos, que abrangem mais de 150 disciplina, de acordo com o site da *Clarivate Analytics*.

O EndNote Web foi selecionado por ser fornecer “um ambiente colaborativo online com a possibilidade de organizar listas de publicação nas comunidades do autor”. (YAMAKAWA et al., 2014)

Os termos de busca determinados para pesquisa (lógica booleana) foram: (“*measurement system*” and “*repeatability and reproducibility*”) em *Title/Keywords/Abstract*) or (“*measurement systems*” and “*repeatability and reproducibility*”) em *Title/Keywords/Abstract*) or (“*gage*” and “*repeatability and reproducibility*”) em *Title/Keywords/Abstract*) or (“*gauge*” and “*repeatability and reproducibility*”) em *Title/Keywords/Abstract*).

Os termos “*measurement system*” e “*repeatability and reproducibility*” e seus sinônimos foram estabelecidos para selecionar publicações referentes à Análise do Sistema de Medição e *Gauge* Repetitividade e Reprodutibilidade em títulos, palavras-chaves e resumos. Então, se obteve uma amostra de 136 trabalhos, seus metadados foram

exportados para uma planilha eletrônica, onde passaram por um processo de triagem, resultando em 48 artigos.

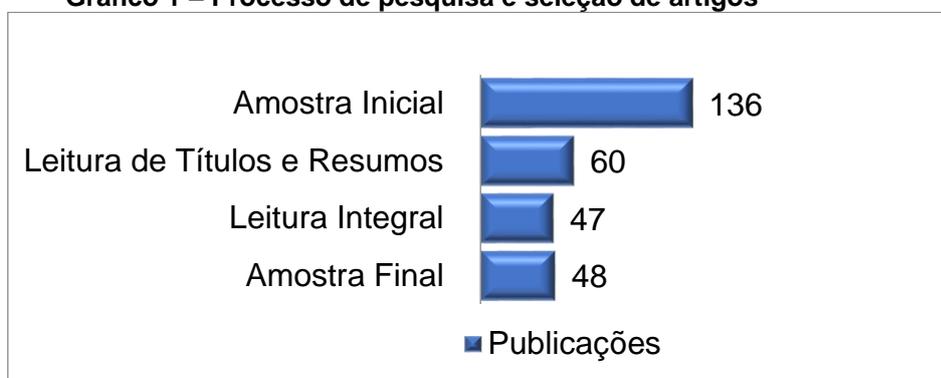
Os critérios de exclusão para RSL foram determinados por meio da leitura de títulos e resumos, para identificar quais os estudos que atendiam aos critérios de elegibilidade de acordo com as características da pesquisa, sendo eles:

- Artigos desalinhados ao tema de pesquisa, pois não avaliaram o Sistema de medição;
- Estudos que tratavam de atributos e dados discretos.

Posteriormente os artigos foram analisados integralmente, sendo 4 excluídos por devido aos critérios de elegibilidade, e 6 excluídos pois o textos integrais dos documentos não estavam disponíveis via Portal Periódicos.

Durante o processo de leitura, foi observado que alguns trabalhos utilizaram os dados de Majeske (2008), devido a isso o artigo foi inserido na pesquisa. O Gráfico 1 demonstra a parcela de publicações da amostra que se alinharam ao objetivo da pesquisa após a leitura completa dos artigos.

**Gráfico 1 – Processo de pesquisa e seleção de artigos**



Fonte: Autoria própria (2020)

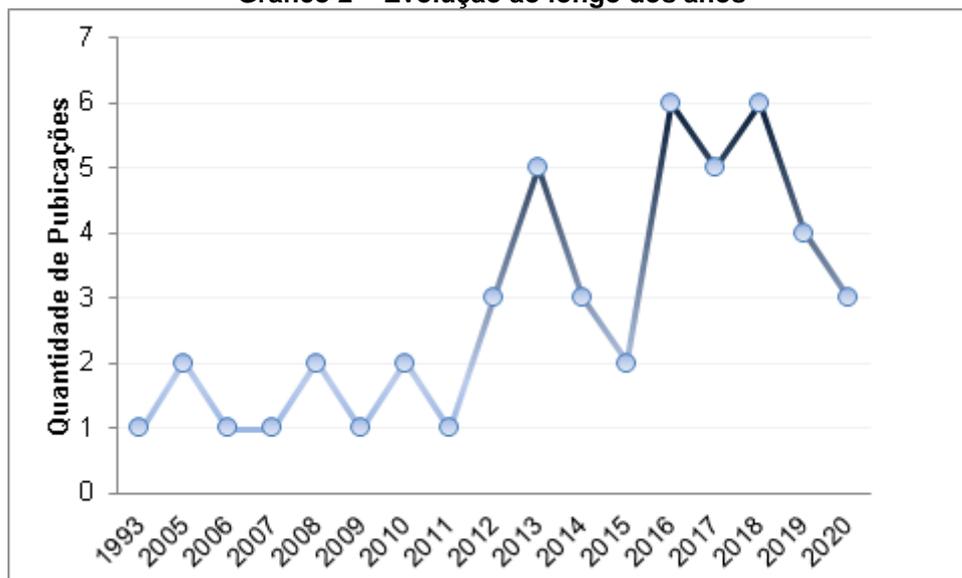
Em seguida, os artigos foram avaliados estaticamente para se determinar o grau de relevância e a evolução das publicações da área ao longo do tempo. Para analisar a adequação da amostra aos termos de buscas selecionados na presente pesquisa foi utilizado o software VOSViewer.

Ainda, com relação a análise dos artigos, a leitura vertical permitiu extração de dados revelando os processos nos quais a análise do sistema de medição foi realizada.

### **3. Análise de Resultados e Discussão**

A análise do sistema de medição é uma área de estudo importante para determinar a quantidade de variação de um processo, para tanto a técnica mais adequada, uma vez calibrado o instrumento, é a repetibilidade e a reprodutibilidade do medidor (PERUCHI et al., 2014). O Gráfico 2 demonstra a concentração dos estudos nessa área em decorrer dos anos e enfatiza a percepção da importância de identificar as variações no sistema de medição, que interferem diretamente na análise dos dados e controle do processo.

Gráfico 2 – Evolução ao longo dos anos



Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 3 demonstra as publicações mais citadas da amostra, as que possuem maior impacto no estado da arte da literatura. As publicações que apresentaram uma maior quantidade de citação ao ano (GIECHASKIEL; DILARA; ANDERSSON, 2008), (AL-REFAIE; BATA, 2010), (ALMEIDA et al., 2020), (ZANOBINI et al., 2016) e (PERUCHI et al., 2014) apresentam um maior impacto na literatura estudada devido as suas contribuições de pesquisa.

Figura 3 – Artigos mais citados da amostra

Publicações	Todas as revistas	
	Total	Citações/Ano
(GIECHASKIEL; DILARA; ANDERSSON, 2008)	58	4,46
(AL-REFAIE; BATA, 2010)	39	3,55
(KAO; SHIH, 2007)	30	2,14
(PAN, 2006)	29	1,93
(MAJESKE, 2008)	28	2,15
(PERUCHI <i>et al.</i> , 2013)	27	3,38
(HAJIPOUR; KAZEMI; MOUSAVI, 2013)	20	2,50
(PERUCHI <i>et al.</i> , 2014)	18	2,57
(ZANOBINI <i>et al.</i> , 2016)	18	3,60
(WEAVER <i>et al.</i> , 2012)	16	1,78
(ANDERSON; GUO; SUNDERLAND, 2017)	11	2,75
(PEREIRA <i>et al.</i> , 2016)	11	2,20
(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2018b)	9	3,00
(GIECHASKIEL <i>et al.</i> , 2018)	8	2,67
(SANSOM <i>et al.</i> , 2017)	8	2,00
(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2019)	5	2,50
(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2020)	4	4,00

Fonte: Autoria própria (2020)

Giechaskiel et al. (2008) realizaram um trabalho de análise interlaboratorial, avaliando as emissões de escape de um veículo, por meio do estudo de R&R de um Sistema de medição de partícula de referência em laboratórios distintos, os autores demonstraram que a comparação dos resultados do sistema estudado e dos laboratórios não apresentou diferença nas variabilidades de repetibilidade, mas uma diferença de 15% nos níveis médios de emissão do número do veículo. O que revela a necessidade de procedimentos de calibração mais definidos, para assegurar que os níveis absolutos das emissões do veículo sejam medidos.

Al-Refaie e Bata (2010) e Almeida et al. (2020) propuseram métodos para avaliar sistemas de medição de manufatura, por meio da realização de estudos de GR&R. Peruchi et al. (2014) propõem novos índices multivariados com base em quatro abordagens ponderadas e Zanobini et al. (2016) analisaram as principais características metrológicas com R&R, a fim de entender quais são os fatores decisivos em um sistema de medição, por meio da análise de dois casos particulares.

Os periódicos que contém o maior número de trabalhos da literatura estudada podem ser visualizados na Figura 4. É notório que 50% da amostra está distribuída entre periódicos diversos, o que demonstra a aplicabilidade e relevância da Análise de Sistemas de Medições em áreas diversas. Foram identificados periódicos das áreas de saúde (“Journal of Clinical Medicine”, “Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery”, “Medical Physics” e “Journal of Biopharmaceutical Statistics”), engenharia e tecnologia (“Acta Scientiarum-Technology” e “Computers & Industrial Engineering”), metrologia (“Mapan-Journal of Metrology Society of India”), alimentos (“Food Control”), manufatura (“Journal of Manufacturing Processes”, “Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme” e “Soldagem & Inspeção”), entre outros.

**Figura 3 – Porcentagens de publicações por periódicos**

Periódicos	Qtd. de Publicações	(%)
Measurement	8	17%
Quality and Reliability Engineering International	4	8%
Precision Engineering- Journal of the International Societies For Precision Engineering and Nanotechnology	2	4%
Optik	2	4%
Quality & Quantity	2	4%
Quality Engineering	2	4%
Applied Sciences-Basel	2	4%
Measurement Science and Technology	2	4%

**Fonte: Autoria própria (2020)**

O “Measurement” (Journal of the International Measurement Confederation-IMEKO) apresentou uma maior concentração de publicações na amostra. Os artigos abordados pelo periódico trazem contribuições em novas realizações em todos os campos da ciência e tecnologia de medição e instrumentação. Os autores são incentivados a enviar novos materiais que representem realizações no campo, cujo objetivo final é um aprimoramento do estado da arte de assuntos como: fundamentos de medição e metrologia, ciência da medição, sensores, instrumentos de medição, técnicas de medição e estimativa, processamento de dados de medição e algoritmos de fusão, procedimentos de avaliação para análise de desempenho de sistemas de medição, processos e algoritmos, modelos



**Quadro 1 – Classificação das publicações por processos de manufatura**

<b>Processo</b>	<b>Artigos</b>
<b>Manufatura Aditiva</b>	Inspeção dimensional de peças quentes em linha (MEJIA-PARRA et al., 2019).
<b>Torneamento</b>	Torneamento de aço (PERUCHI et al., 2013) e (PERUCHI et al., 2014) (PERUCHI et al., 2016); Torneamento de alumínio (SAIKAEW, 2018).
<b>Soldagem</b>	Teste de soldabilidade (PAN; LI; OU, 2015); Revestimento de aço inoxidável (ARAÚJO et al., 2019) e (PEREIRA et al., 2016); RSW(ALMEIDA et al., 2018a)(ALMEIDA et al., 2018b)( ALMEIDA et al., 2020).
<b>Processos de melhoria</b>	Desempenho mecânico de polímeros (YAO; PENG; ZHANG, 2017); Instrumentos deteriorados (SCAGLIARINI, 2015); Monitoramento ferroviário(ASPLUND; LIN, 2016), Teste de fitas magnéticas para dados computadorizados (GONG; BURDICK; QUIROZ, 2005), Selagem de vidros de telas TFT LCD (PAN, 2006), teste de estabilidade de cadeira de rodas (EICHOLTZ et al., 2012).
<b>Materiais</b>	Bobinas texturizadas (ALMEIDA et al., 2019); Injeção de plástico moldado, perfuração de peças de madeira (AL-REFAIE; BATA, 2010); Elasticidade de comprimento e mola (SHI; CHEN; LU, 2014).
<b>Qualidade de Alimentos</b>	Fabricação de biscoitos (SRIKAEAO; FURST; ASHTON, 2005); Análise do percentual de gordura (ZHU et al., 2014).
<b>Sistemas de medição</b>	Máquinas CMM (DEV; JHA; PARKASH, 2018); Sistemas de medição óptica (KUO; HUANG, 2013)(AL-REFAIE; BATA, 2010).
<b>Industria Automotiva</b>	Carroceria (MAJESKE, 2008) e (SHI et al., 2016); Disco de freio (AWAD et al., 2009); Front cover of loader (CEPOVA et al., 2018); Emissões de escape (GIECHASKIEL et al., 2018); Teste de exustão de veículo (GIECHASKIEL; DILARA; ANDERSSON, 2008); Carcaça de embreagem (HAJIPOUR; KAZEMI; MOUSAVI, 2013); Injetores de combustão de diesel (KAO; SHIH, 2007); Estampa de carroceria (PERUCHI et al., 2016); Interruptores e rolamentos (YEH; SUN, 2013).

<b>Outros</b>	<p>Emissões de escape (GIECHASKIEL et al., 2018); Teste de exustão de veículo (GIECHASKIEL; DILARA; ANDERSSON, 2008); Reflectometria de espelhos solares(SANSOM et al., 2017); Processo de Calibração de Diodo de Zene e Ondas elétricas (ZANOBINI et al., 2016);Microscopia eletrônica de Transmissão (ANDERSON; GUO; SUNDERLAND, 2017); Síntese de Propileno (CIOPEC, 1993); Teste de gotejamento (ROCHA et al., 2017); Suportes hidráulicos (YANG et al., 2020);Investigação de um sistema de monitoração de navegação cirúrgica (WANG et al., 2013); Braquiterapia da próstata (MCGILL et al., 2011); Concentração de vitamina B12 (ALSHRAIDEH et al., 2016); Mensuração de resíduos de cimento ortodôntico (ZUBIZARRETA-MACHO et al., 2020); Teste do padrão de spray nasal (GRMAŠ; DREU; INJAC, 2019); Coloração de cosmético (SALAH; CHOW; SONG, 2017); Dados da Literatura (WANG; CHERN, 2012);(WANG; CHIEN, 2010) e (WEAVER et al., 2012).</p>
---------------	---

**Fonte: Autoria própria (2020)**

## 5. Conclusões

O estudo em questão teve por objetivo avaliar o estado da arte da literatura sobre a aplicação do estudo de *Gauge* R&R nos sistemas de medição e suas contribuições, bem como realizar uma análise descritiva de uma amostra de 48 publicações, identificando as principais áreas onde o estudo foi realizado.

Como resultado, foi observado que o estudo de GR&R se aplica a diversas áreas, sendo comumente utilizado na área de manufatura.

Contudo, a Revisão Sistemática proposta nessa pesquisa cumpriu satisfatoriamente os seus objetivos, apesar das limitações encontradas ao longo da execução do estudo, tais como a análise de títulos e resumos e a indisponibilidade dos textos integrais dos documentos na plataforma de pesquisa.

A análise de títulos e resumos não revelam todas as características do estudo, o que possibilita falhas na inclusão de artigos. Já a limitação do acesso a alguns trabalhos na íntegra, forçou a retirada de alguns artigos da amostra. Outro fator de caráter limitante é que os resultados obtidos possuem uma generalização contida, por se tratar de uma amostra da literatura existente.

Como trabalhos futuros, sugerem-se análises que levem em consideração o estudo dos métodos aplicados do estudo de GR&R univariados e multivariados identificando os principais métodos, contribuições e objetivos.

## Referências

- ALMEIDA, F. A. DE et al. A new multivariate approach based on weighted factor scores and confidence ellipses to precision evaluation of textured fiber bobbins measurement system. **Precision Engineering**, v. 60, n. September, p. 520–534, 2019.
- ALMEIDA, F. A. DE et al. Análise das Causas de Variação Atribuídas a Diferentes

Instrumentos Metrológicos para Verificação das Características Geométricas de um Processo de Soldagem por Pontos. **Soldagem & Inspeção**, v. 23, n. 4, p. 485–504, 2018a.

ALMEIDA, F. A. et al. A multivariate GR&R approach to variability evaluation of measuring instruments in resistance spot welding process. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 36, n. October, p. 465–479, 2018b.

ALMEIDA, F. A. et al. Multivariate data quality assessment based on rotated factor scores and confidence ellipsoids. **Decision Support Systems**, v. 129, n. April 2019, p. 113173, 2020.

AL-REFAIE, A.; BATA, N. Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 43, n. 6, p. 842–851, 2010.

ALSHRAIDEH, H. et al. Reference Range Estimation: Accounting for Measurement System Errors. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 32, n. 3, p. 901–908, 2016.

ANDERSON, P. M.; GUO, H.; SUNDERLAND, P. B. Repeatability and reproducibility of TEM soot primary particle size measurements and comparison of automated methods. **Journal of Aerosol Science**, v. 114, n. June, p. 317–326, 2017.

ARAÚJO, L. et al. New indicators for measurement error detection in GR&R studies. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 140, p. 557–564, 2019.

ASPLUND, M.; LIN, J. Evaluating the measurement capability of a wheel profile measurement system by using GR&R. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 92, p. 19–27, 2016.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (2010). **Measurement systems analysis reference manual**, 4th ed. Detroit, MI: Automotive Industry Action Group.

AWAD, M. et al. A measurement system analysis approach for hard-to-repeat events. **Quality Engineering**, v. 21, n. 3, p. 300–305, 2009.

BURDICK, R. K.; BORROR, C. M.; MONTGOMERY, D. C. A review of methods for measurement systems capability analysis. **Journal of Quality Technology**, v. 35, n. 4, p. 342–354, 2003.

CEPOVA, L. et al. Measurement System Analyses - Gauge Repeatability and Reproducibility Methods. **Measurement Science Review**, v. 18, n. 1, p. 20–27, 2018.

CHEN, K. S.; WU, C. H.; CHEN, S. C. Criteria of determining the P/T upper limits of GR&R in MSA. **Quality and Quantity**, v. 42, n. 1, p. 23–33, 2008.

CIOPEC, M. Statistical tools used in the improvement of quality control laboratory performance. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 21, n. 1, p. 21–34, 1993.

DEV, A.; JHA, P. K.; PARKASH, V. Effect of Automation on GRR in Tactile Measurement. **Mapan - Journal of Metrology Society of India**, v. 33, n. 4, p. 449–458, 2018.

DINNES, J. et al. A methodological review of how heterogeneity has been examined in systematic reviews of diagnostic test accuracy. **Health Technology Assessment**, v. 9, n. 12, 2005.

EICHOLTZ, M. R. et al. Test method for empirically determining inertial properties of manual wheelchairs. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 49, n. 1, p. 51–62, 2012.

GIECHASKIEL, B. et al. Inter-Laboratory Correlation Exercise with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) on chassis dynamometers. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 8, n. 11, p. 1–12, 2018.

GIECHASKIEL, B.; DILARA, P.; ANDERSSON, J. Particle Measurement Programme (PMP) light-duty inter-laboratory exercise: Repeatability and reproducibility of the particle number method. **Aerosol Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 528–543, 2008.

GIL, A. C. (ORG). **Delineamento da Pesquisa**. v. 264, 2008.

GONG, L.; BURDICK, R. K.; QUIROZ, J. Confidence intervals for unbalanced two-factor gauge R&R studies. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 21, n. 8, p. 727–741, 2005.

GRMAŠ, J.; DREU, R.; INJAC, R. Analytical challenges of spray pattern method development for purposes of in vitro bioequivalence testing in the case of a nasal spray product. **Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery**, v. 32, n. 4, p. 200–212, 2019.

HAIPOUR, V.; KAZEMI, A.; MOUSAVI, S. M. A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 46, n. 8, p. 2770–2780, 2013.

IRWIG, L. et al. Guidelines for meta-analyses evaluating diagnostic tests. **Annals of Internal Medicine**, v. 120, n. 8, p. 667–676, 1994.

KAO, C. C.; SHIH, A. J. Form measurements of micro-holes. **Measurement Science and Technology**, v. 18, n. 11, p. 3603–3611, 2007.

KUO, C. C.; HUANG, P. J. Repeatability and reproducibility study of thin film optical measurement system. **Optik**, v. 124, n. 18, p. 3489–3493, 2013.

MAJESKE, K. D. Approval criteria for multivariate measurement systems. **Journal of Quality Technology**, v. 40, n. 2, p. 140–153, 2008.

MCGILL, C. S. et al. Precision grid and hand motion for accurate needle insertion in brachytherapy. **Medical Physics**, v. 38, n. 8, p. 4749–4759, 2011.

MEJIA-PARRA, D. et al. In-line dimensional inspection of warm-die forged revolution workpieces using 3D mesh reconstruction. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 6, p. 1–21, 2019.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

PAN, J. N. Evaluating the gauge repeatability and reproducibility for different industries. **Quality and Quantity**, v. 40, n. 4, p. 499–518, 2006.

PAN, J. N.; LI, C. I.; OU, S. C. Determining the optimal allocation of parameters for multivariate measurement system analysis. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 20, p. 7036–7045, 2015.

PEREIRA, R. B. D. et al. Combining Scott-Knott and GR&R methods to identify special causes of variation. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 82, p. 135–144, 2016.

PERUCHI, R. S. et al. A new multivariate gage R&R method for correlated characteristics. **International Journal of Production Economics**, v. 144, n. 1, p. 301–315, 2013.

PERUCHI, R. S. et al. Comparações de métodos GR&R multivariados usando intervalo de confiança bootstrap. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 38, n. 4, p. 489–496, 2016.

PERUCHI, R. S. et al. Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis. **Precision Engineering**, v. 38, n. 3, p. 651–658, 2014.

ROCHA, H. S. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Dripper testing : Application of statistical quality control for measurement system analysis. p. 587–593, 2017.

SAIKAEW, C. An implementation of measurement system analysis for assessment of machine and part variations in turning operation. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 118, n. October 2017, p. 246–252, 2018.

SALAH, S.; CHOW, S. C.; SONG, F. On the evaluation of reliability, repeatability, and reproducibility of instrumental evaluation methods and measurement systems. **Journal of Biopharmaceutical Statistics**, v. 27, n. 2, p. 331–337, 2017.

SAMPIERI, R. H.; Collado, C. F.; LUCIO, M. P. B. Metodologia de pesquisa. 5.ed. Porto Alegre: Penso, 2013, cap. 17.

SANSOM, C. et al. Reflectometer comparison for assessment of back-silvered glass solar

mirrors. **Solar Energy**, v. 155, p. 496–505, 2017.

SCAGLIARINI, M. A Method for Improving Multivariate Measurement Systems Assessment. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 31, n. 6, p. 977–988, 2015.

SHI, L. et al. A Modified Region Approach for Multivariate Measurement System Capability Analysis. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 32, n. 1, p. 37–50, 2016.

SHI, L.; CHEN, W.; LU, L. F. An approach for simple linear profile gauge R&R studies. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2014, 2014.

SRIKAEAO, K.; FURST, J. E.; ASHTON, J. Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. **Food Control**, v. 16, n. 4, p. 309–317, 2005.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

WANG, F. K.; CHERN, H. L. Confidence intervals for two-dimensional data with circular tolerances in a gauge R&R study. **Quality and Quantity**, v. 46, n. 1, p. 55–69, 2012.

WANG, F. K.; CHIEN, T. W. Process-oriented basis representation for a multivariate gauge study. **Computers and Industrial Engineering**, v. 58, n. 1, p. 143–150, 2010.

WANG, F. K.; YANG C. W. Applying Principal Component Analysis to a GR&R Study. *J Chinese Inst Ind Eng* 2007;24(2):182–9.

WANG, Y. et al. Positional accuracy and transmitter orientation of the 3D electromagnetic tracking system. **Measurement Science and Technology**, v. 24, n. 10, 2013.

WEAVER, B. P. et al. A Bayesian approach to the analysis of gauge R&R data. **Quality Engineering**, v. 24, n. 4, p. 486–500, 2012.

YAMAKAWA, E. K. et al. Comparativo dos softwares de gerenciamento de referências bibliográficas: Mendeley, EndNote e Zotero. **Transinformacao**, v. 26, n. 2, p. 167–176, 2014.

YANG, X. et al. A novel method for measuring pose of hydraulic supports relative to inspection robot using LiDAR. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 154, p. 107452, 2020.

YAO, B. G.; PENG, Y. L.; ZHANG, D. P. Simultaneous contact sensing and characterizing of mechanical and dynamic heat transfer properties of porous polymeric materials. **Materials**, v. 10, n. 11, 2017.

YEH, T. M.; SUN, J. J. Using the Monte Carlo simulation methods in gauge repeatability and reproducibility of measurement system analysis. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 11, n. 5, p. 780–796, 2013.

ZANOBINI, A. et al. Repeatability and Reproducibility techniques for the analysis of measurement systems. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 86, p. 125–132, 2016.

ZHU, X. et al. A new method to measure fat content in coconut milk based on Y-type optic fiber system. **Optik**, v. 125, n. 20, p. 6172–6178, 2014.

ZUBIZARRETA-MACHO, Á. et al. Novel Digital Technique to Quantify the Area and Volume of Cement Remaining and Enamel Removed after Fixed Multibracket Appliance Therapy Debonding: An In Vitro Study. **Journal of Clinical Medicine**, v. 9, n. 4, p. 1098, 2020.