

Relatório Final do Ensaio de Proficiência em Medição de Torque, Potência e Consumo Específico em Motores Ciclo Otto



PEP-Inmetro

PROGRAMA DE ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA DO INMETRO

Os resultados deste relatório referem-se somente aos itens ensaiados e aos respectivos participantes. Este relatório somente pode ser reproduzido em sua forma integral. Reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo Inmetro.



ENSAIO DE PROFICIÊNCIA EM MEDIÇÃO DE TORQUE, POTÊNCIA E CONSUMO ESPECÍFICO EM MOTORES CICLO OTTO – 1ª RODADA

Período de realização: 20/06/2022 a 03/04/2024

RELATÓRIO FINAL Nº 003/2024

ORGANIZAÇÃO E COORDENAÇÃO PROMOTORA DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA



Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro

Diretoria de Metrologia Científica, Industrial e Tecnologia - Dimci

Endereço: Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém – Duque de Caxias

RJ – Brasil – CEP: 25250-020

E-mail para contato: pep-inmetro@inmetro.gov.br – Telefone: (21) 2145-3002

COMITÊ DE ORGANIZAÇÃO E COORDENAÇÃO

Adelcio Rena Lemos (Inmetro/Dimci/Lapep)

Diego Soares Siqueira (Inmetro/Dimci/Lapep)

Janaína Marques Rodrigues Caixeiro (Inmetro/Dimci/Dquim)

José Ricardo Bardellini da Silva (Inmetro/Dimci/Lapep) - Chefe do Lapep

Leidiane Rangel da Silveira Kefler (Inmetro/Dimci/Lapep)

Lucas Dias Barros (Inmetro/Dimci/Lapep)

Marcelo Lima Alves (Inmetro/Dimci/Dquim/Lanag)

Rodrigo Caciano de Sena (Inmetro/Dimci/Lapep)

COMITÊ TÉCNICO

Gabriel Fonseca Sarmanho (Inmetro/Dimci)

Jefferson Andrade (AEA)

Marcelo Lima Alves (Inmetro/Dimci/Dquim/Lanag)

Paulo Roque Martins Silva (Inmetro/Caint/Disbt)

SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Materiais e Métodos	3
2.1. Seleção e Preparação do Item de EP	3
2.2. Estudo de Estabilidade	4
2.3. Metodologia utilizada pelos participantes.....	6
2.4. Avaliação de Desempenho	7
2.4.1. Atribuição do Valor Designado e do Desvio-Padrão para Avaliação de Proficiência.....	7
2.4.2. Índice z e z'	8
2.4.2.1 Índice z	8
2.4.2.2. Índice z'	8
3. Resultados e Discussões.....	9
3.1. Estudo de Estabilidade	9
3.2. Resultados dos Participantes	14
3.3. Valores Designados	18
4. Dispersão dos Resultados.....	20
4.1. Consumo Específico de Combustível	20
4.2. Potência Corrigida.....	24
4.3. Torque Corrigido.....	29
5. Avaliação de desempenho.....	33
5.1. Índice z'	33
5.1.1. Consumo Específico de Combustível.....	33
5.1.2. Potência Corrigida	38
5.1.3. Torque Corrigido	43
6. Comentários Gerais	48
6.1. Estabilidade do Item do EP	48
6.2. Dados das Medições.....	48
6.2.1 Consumo Específico de Combustível.....	48
6.2.2 Incerteza de Medição	48
7. Confidencialidade.....	50
8. Conclusões	51
9. Participantes	52
10. Referências Bibliográficas	53

1. Introdução

Um ensaio de proficiência (EP) tem por finalidade comparar resultados de medição de diferentes laboratórios, realizados sob condições similares, e, assim, obter uma avaliação da competência técnica dos participantes, fornecendo-lhes um mecanismo adequado para avaliar e demonstrar a confiabilidade de seus resultados de medições. Os participantes, por sua vez, têm a oportunidade de rever seus procedimentos de análises, bem como implantar melhorias nos seus processos, caso seja necessário.

Esta é a 1ª rodada do ensaio de proficiência em motores ciclo Otto, organizada para atender à demanda da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva – AEA. Difere das duas comparações interlaboratoriais que a precederam, pois, esta atividade apresenta a avaliação de desempenho dos participantes.

Este EP teve como objetivo:

- Avaliar o desempenho dos participantes a partir dos resultados de torque e potência corrigidos e consumo específico de combustível;
- Contribuir para o aumento da confiança nos resultados das medições dos laboratórios que efetuam ensaios em bancos dinamométricos de motores ciclo Otto;
- Contribuir para a melhoria contínua das técnicas de medição de torque corrigido, potência corrigida e consumo específico de cada laboratório;

2. Materiais e Métodos

Esta rodada do EP foi organizada em colaboração com a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva e a Divisão de Metrologia Química (Dquim) do Inmetro foi a responsável por acompanhar a seleção dos itens do EP, definição dos parâmetros a serem medidos, avaliação estatística dos resultados de preparação inicial e aprovação dos itens de ensaio para execução do EP.

2.1. Seleção e Preparação do Item de EP

A Stellantis disponibilizou um motor de sua própria linha de fabricação para ser utilizado como item de ensaio deste EP, com as características constantes no quadro 1. O laboratório da fabricante do motor foi o responsável por realizar as medições iniciais para a avaliação e aprovação do item de ensaio. A avaliação inicial do item de ensaio foi realizada para checar a integridade (inspeção

visual) e a repetibilidade do motor em relação aos seguintes parâmetros: torque corrigido (N·m), potência corrigida (kW), consumo específico de combustível (g/kW.h).

O item de EP foi preparado e ajustado com o objetivo de minimizar as variações dos parâmetros selecionados ao longo de todo o EP.

Quadro 1 -Características do item do ensaio de proficiência

Fabricante	Stellantis
Modelo	Etorq 1.8 VIS 16V
Número do motor	3626265
Combustível	E100 (Etanol hidratado comercial)
Tipo de óleo	5W30
Quantidade de óleo	Primeiro abastecimento (c/ filtro): 3740g Subsequentes (s/ filtro): 3390g
Fluido de arrefecimento	50% água desmineralizada + 50% etilenoglicol

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 003/2022 – Revisão nº 02

2.2. Estudo de Estabilidade

Conforme a ABNT NBR ISO/IEC 17043, o item de ensaio utilizado em um EP deve ser suficientemente estável, em relação aos parâmetros que estão sendo avaliados, desde o início do EP até a medição do último participante. O termo “suficientemente estável” significa que qualquer alteração que ocorra no item do EP durante as medições pelos participantes não deve impactar significativamente a avaliação de desempenho [1].

O laboratório da Stellantis realizou as medições para avaliar a estabilidade do item de ensaio no início, no meio e ao final do ciclo – ponto inicial (Y_1), ponto intermediário (Y_2) e ponto final (Y_3). Para o ponto Y_1 foram realizadas 10 medições e para Y_2 e Y_3 foram realizadas 30 medições. Para avaliar a estabilidade do item de ensaio, os resultados desses três pontos foram comparados para testar a hipótese se eles seriam estatisticamente equivalentes.

O teste t para amostras não pareadas foi utilizado para testar a hipótese nula (H_0) de equivalência entre as médias dos pontos do estudo de estabilidade.

H_0 – não existe diferença entre os dois conjuntos de dados;

H_1 – existe diferença entre os dois conjuntos de dados.

Além disso, foram definidos critérios de aceitação de variação máxima (%) entre os três pontos do estudo de estabilidade (Tabela 1). Esses critérios foram baseados nos resultados obtidos na avaliação da repetibilidade do motor em relação ao torque corrigido, à potência corrigida e ao consumo específico de combustível.

Tabela 1 – Critérios de aceitação para estabilidade do item de EP.

Motor	Parâmetro		
	Torque Corrigido	Potência Corrigido	Consumo Específico
Stellatis	≤ 0,28%	≤ 0,28%	≤ 0,76%

Fonte: Plano de Trabalho de Dimci/Lapep nº 003/2022 – Revisão nº 02

Nos casos em que o valor designado e o desvio-padrão para avaliação de proficiência dos participantes são determinados a partir dos resultados dos participantes, **pode-se assumir que a incerteza-padrão do valor de consenso inclui os efeitos das fontes de incerteza associadas com o transporte e a instabilidade dos itens do EP**, conforme descrito na Nota 1 do item 7.7.7 – ISO 13528[2].

A incerteza-padrão (u_x) do valor designado, para cada parâmetro, foi calculada de acordo com a equação 1.

$$u_x = 1,25x \frac{\sigma}{\sqrt{p}} \quad (1)$$

Onde:

σ é o desvio-padrão do valor designado, calculado usando o Algoritmo A (ISO 13528:2022);

p é o número de resultados dos participantes utilizados para calcular o valor de consenso.

De acordo com o item 9.2.1 da ISO 13528, a incerteza-padrão do valor designado deve ser comparada com o desvio-padrão do valor designado e o critério da inequação 1 deve ser atendido para que o efeito de u_x na avaliação de desempenho dos participantes seja considerado negligenciável:

$$u_x < 0,3\sigma \quad (1)$$

Neste EP, quando o critério acima não foi atendido, o efeito da instabilidade do item de ensaio não pode ser negligenciado e o valor de u_x foi combinado com o valor de σ e foi calculado um novo valor para o desvio-padrão para avaliação da proficiência dos participantes.

2.3. Metodologia utilizada pelos participantes

Neste EP foram avaliados os seguintes parâmetros: torque corrigido (N.m), potência corrigida (kW), consumo específico de combustível (g/kW.h). Todos os participantes utilizaram a Norma ABNT NBR ISO 1585 como referência para executar as medições [3]. As condições e os valores de referência utilizados nas medições estão descritos nas tabelas 2 e 3. Para cada parâmetro foi solicitado aos participantes o envio de 10 (dez) medições para cada rotação definida da tabela 4.

Tabela 2 – Valores de referência para as medições de torque corrigido, potência corrigida e consumo de combustível específico.

Variável	Valor de referência	Alarme
Temperatura da saída de água	90 °C (± 2 °C)	88 °C / 92 °C
Temperatura do óleo lubrificante	120 °C (± 2 °C)	118 °C / 122 °C
Temperatura do ar de admissão	20 °C (± 2 °C)	18 °C / 22 °C
Temperatura do combustível	25°C (± 5 °C)	20 °C/30 °C
Pressão do óleo	3,6 bar	Dinâmico
Pressão do combustível	4,2 bar/ 6000rpm	4,1 bar/ 4,3 bar
Contra pressão do escapamento	400mbar/ 6000rpm	360 mbar / 440 mbar 330 mbar / 270 mbar
Temperatura do catalizador	920 °C	950 °C (máx.)
Tensão da bateria	13,5 V	13,5 V ($\pm 1,5$ V)

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 003/2022 – Revisão nº 02

Tabela 3 - Aquecimento do motor

Rotação	Tempo	Carga
[rpm]	[min]	[N.m]
Marcha Lenta	2	-
1875	2	15
3125	2	36
5000	(*)	50

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 003/2022 – Revisão nº 02

*Até a temperatura de saída de água e de óleo atingir 90 °C, para concluir o tempo de aquecimento.

Após concluído o aquecimento acima, os participantes deveriam elevar o motor à condição de 6000 rpm WOT e esperar estabilizar as temperaturas de óleo e água e iniciar o ciclo de medição para o EP.

Tabela 4 – Rotações para as curvas de desempenho

Rotação (rpm)	6000	5500	5000	4500	4000	3500	3000	2500
Carga	WOT	WOT	WOT	WOT	WOT	WOT	WOT	WOT

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 003/2022 – Revisão nº 02

Notas:

1 – Estabilizar cada rotação por 2 (dois) minutos;

2 – Gravar cada rotação por 30 (trinta) segundos.

Outros parâmetros foram medidos pelos participantes, mas não foram considerados na avaliação estatística para este EP. Eles serviram para avaliação de possíveis discrepâncias no processo de medição de torque e potência, assim como no estudo de parâmetros que podem ser melhor estudados quando da medição dos parâmetros avaliados neste ensaio de proficiência. São eles, a saber: consumo do combustível (kg/h), fator de correção, lambda, torque (N·m), potência (kW), umidade relativa do ar (%), temperatura de admissão (°C), temperatura do bulbo úmido (°C), temperatura do óleo (°C), temperatura de escape (°C), temperatura da água de entrada (°C), temperatura da água de saída (°C), pressão do óleo (kPa), pressão do combustível (kPa), pressão de escape (kPa), pressão do coletor de admissão (kPa), pressão barométrica (kPa).

2.4. Avaliação de Desempenho

2.4.1. Atribuição do Valor Designado e do Desvio-Padrão para Avaliação de Proficiência

De acordo com os procedimentos disponíveis para o estabelecimento de valores designados pela ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011, os valores designados deste EP foram calculados por meio de métodos estatísticos descritos no item 7.7 da Norma ISO 13528:2022, ou seja, valores de consenso de participantes.

A Norma ISO 13528:2022 descreve a análise robusta envolvendo o emprego da estimativa do algoritmo A para o cálculo do valor designado e do desvio-padrão. **As técnicas de estatística robusta são utilizadas para minimizar a influência que resultados extremos podem ter sobre estimativas de média e desvio-padrão** (detalhes sobre o Algoritmo A estão descritos no Anexo C da Norma ISO 13528:2022).

Conforme descrito na subseção 2.2, a significância da incerteza-padrão do valor designado foi investigada e quando aplicável ela foi combinada com seu desvio-padrão para a definição do desvio-padrão para avaliação de desempenho dos participantes do EP. O índice z' foi utilizado nos

casos em que a incerteza-padrão do valor designado foi incluída no cálculo do desvio-padrão para avaliar o desempenho dos participantes.

2.4.2. Índice z e z'

2.4.2.1. Índice z

Para a avaliação de desempenho dos participantes foi seguido um dos critérios da ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011, o índice z (z -score, medida da distância relativa do resultado da medição do laboratório em relação ao valor designado do ensaio de proficiência), que foi calculado de acordo com a equação 2.

$$z_i = \frac{x_i - x_{pt}}{\sigma_{pt}} \quad (2)$$

Onde:

x_i é o resultado médio das medições do i -ésimo participante;

x_{pt} é o valor designado deste EP; que nesta rodada foi o valor de consenso calculado usando o Algoritmo A (Anexo C - ISO 13528:2022);

σ_{pt} é o desvio-padrão para a avaliação de proficiência, que nesta rodada foi o desvio-padrão do valor de designado calculado usando o Algoritmo A (Anexo C - ISO 13528:2022).

A interpretação do índice z é apresentada a seguir:

$|z| \leq 2,0$ - indica desempenho “satisfatório” e não gera sinal;

$2,0 < |z| < 3,0$ - indica desempenho “questionável” e gera um sinal de alerta;

$|z| \geq 3,0$ - indica desempenho “insatisfatório” e gera um sinal de ação.

2.4.2.2. Índice z'

Para os parâmetros em que a incerteza-padrão do valor designado não atendeu o critério definido na inequação 1, da subseção 2.2, foi utilizado o índice z' (z' -score), equação 3.

$$z'_i = \frac{x_i - x_{pt}}{\sqrt{\sigma_{pt}^2 + u^2(x_{pt})}} \quad (3)$$

Onde:

x_i é o resultado médio das medições do i -ésimo participante;

x_{pt} é o valor designado deste EP; que nesta rodada foi o valor de consenso calculado usando o Algoritmo A (Anexo C - ISO 13528:2022);

σ_{pt} é o desvio-padrão do valor designado calculado usando o Algoritmo A (Anexo C - ISO 13528:2022);

u_{pt} é a incerteza-padrão do valor designado.

A interpretação do índice z' é apresentada a seguir:

$|z'| \leq 2,0$ – indica desempenho “satisfatório” e não gera sinal;

$2,0 < |z'| < 3,0$ – indica desempenho “questionável” e gera um sinal de alerta;

$|z'| \geq 3,0$ – indica desempenho “insatisfatório” e gera um sinal de ação.

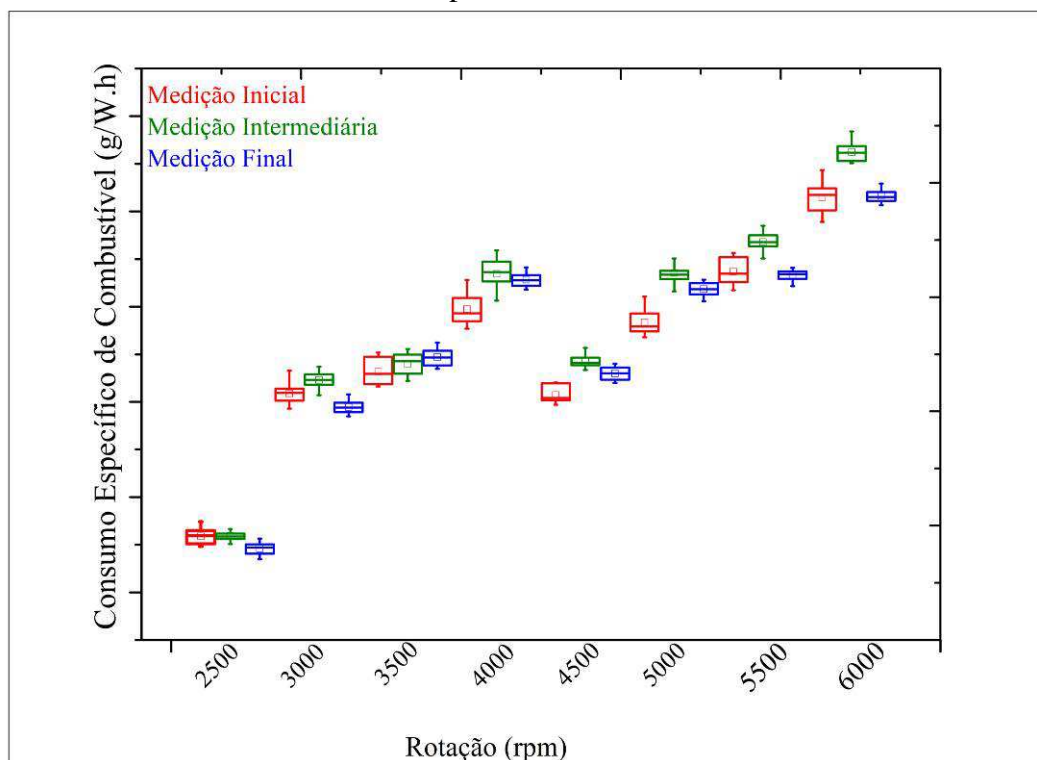
3. Resultados e Discussões

3.1. Estudo de Estabilidade

Na figura 1 são apresentados os resultados das medições realizadas para avaliar a estabilidade durante a circulação do item de EP. Para uma melhor visualização desse comportamento, nos diferentes níveis de rotação, são apresentados os diagramas de caixa (*boxplots*) das medições para cada variável no início, no meio e no final da circulação do item de EP. Cada caixa representa o comportamento das 10 medições no ponto inicial e 30 medições no intermediário e no final de cada nível de rotação.

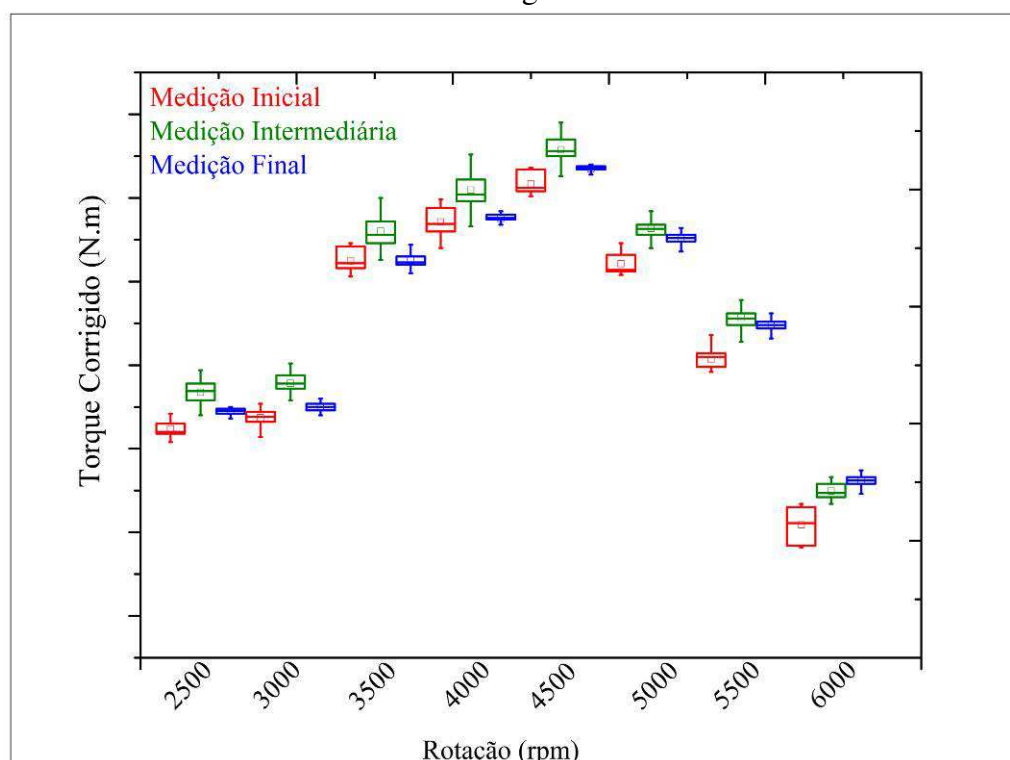
Cada caixa do gráfico representa a média das medições (quadrado no interior da caixa), a mediana das medições (linha do interior da caixa) e os limites inferior e superior das medições (barra da caixa).

Figura 1 – Análise visual do comportamento da estabilidade do item de EP em relação ao consumo específico de combustível.



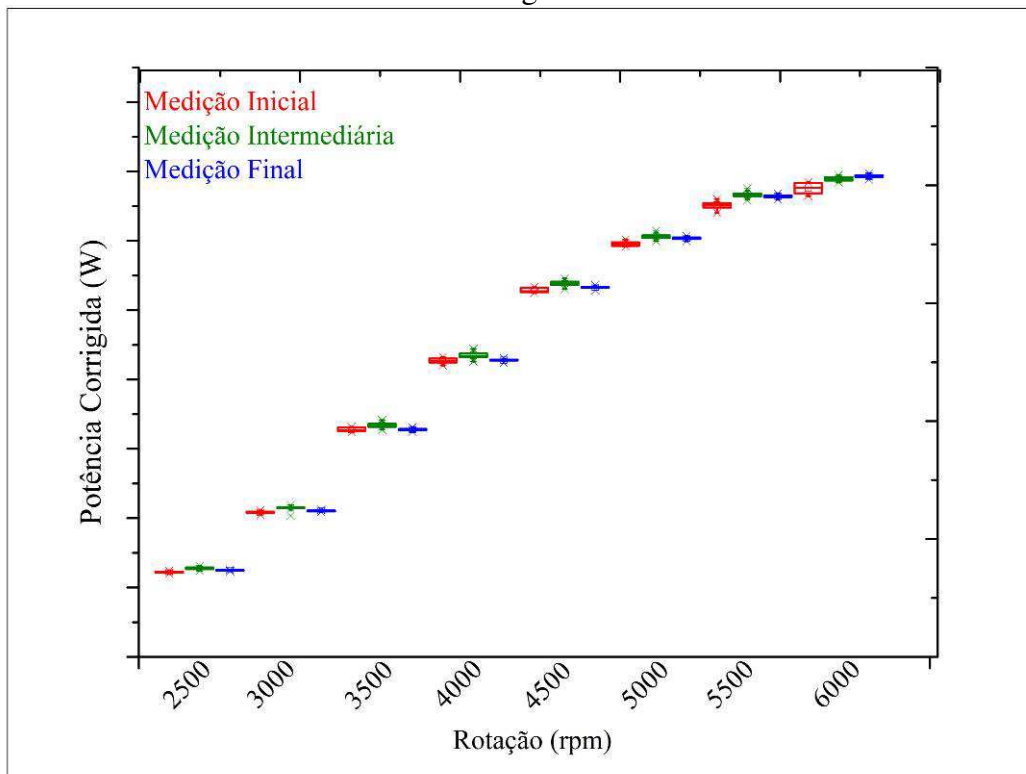
Fonte:Dimci/Lapep

Figura 2 – Análise visual do comportamento da estabilidade do item de EP em relação ao torque corrigido



Fonte:Dimci/Lapep

Figura 3 – Análise visual do comportamento da estabilidade do item de EP em relação à potência corrigida.



Fonte: Dimci/Lapep

Os resultados apresentados nas figuras 1, 2 e 3 indicam que, para a maioria dos parâmetros, ocorreu uma variação entre os pontos do estudo de estabilidade com a medição intermediária tendendo a valores superiores. Em relação à repetibilidade das medições nos pontos do estudo de estabilidade, para cada nível de rotação, foi observado o comportamento descrito na tabela 5.

Tabela 5 - Estudo de Estabilidade – Repetibilidade das medições – variação entre pontos.

Rotação (rpm)	Consumo Específico de Combustível	Torque Corrigido	Potência Corrigida
	Desvio-padrão relativo (%)*		
2500	0,22 – 0,46	0,13 – 0,39	0,13 – 0,38
3000	0,30 – 0,57	0,17 – 0,38	0,17 – 0,52
3500	0,44 – 0,66	0,20 – 0,56	0,21 – 0,56
4000	0,31 – 0,80	0,22 – 0,61	0,21 – 0,60
4500	0,32 – 0,45	0,18 – 0,43	0,18 – 0,43
5000	0,31 – 0,70	0,18 – 0,39	0,17 – 0,40
5500	0,27 – 0,65	0,22 – 0,60	0,22 – 0,61
6000	0,31 – 0,84	0,21 – 0,66	0,21 – 0,72

Fonte: Dimci/Lapep

*Relativo à média dos parâmetros em cada ponto do estudo de estabilidade.

Na tabela 6 são apresentados os desvios-padrão da média dos três pontos do estudo de estabilidade, para cada nível de rotação do moto.

Tabela 6 - Estudo de Estabilidade – Desvio-padrão do valor médio dos pontos do estudo de estabilidade do item do EP

Rotação (rpm)	Consumo Específico de Combustível	Torque Corrigido	Potência Corrigida
	Desvio-padrão relativo (%)*		
2500	0,41	0,68	0,67
3000	0,72	0,65	0,61
3500	0,37	0,60	0,59
4000	0,93	0,60	0,60
4500	0,87	0,58	0,58
5000	1,25	0,63	0,62
5500	0,90	0,81	0,84
6000	1,21	0,88	0,93

Fonte: Dimci/Lapep

*Relativo à média das médias dos três pontos do estudo de estabilidade.

Cabe destacar que na tabela 1 (subseção 2.2) foram definidos critérios de aceitação para a avaliação da estabilidade do item do EP e esses valores foram baseados em medições realizadas sob condições de repetibilidade. Nota-se na tabela 5 que para os parâmetros torque corrigido e potência corrigida, a repetibilidade das medições não se manteve abaixo do critério de aceitação. Esse limite foi respeitado apenas nas medições de consumo de específico de combustível (com exceção das medições entre 4000 e 6000 rpm). Essa variação atípica pode ser uma característica do próprio método de medição e/ou representar um desgaste natural do item do EP.

Em relação aos dados apresentados na tabela 6, com exceção do consumo específico de combustível entre 2500 e 3500 rpm, não houve atendimento aos critérios definidos na tabela 1 (subseção 2.2). Vale apenas destacar que os critérios definidos na tabela 1 tiveram como base as medições realizadas em condições de repetibilidade (tabela 5). Já a variação observada na avaliação da estabilidade (tabela 6), é uma fonte adicional de variabilidade e, por conta disto, a variação entre os pontos do estudo de estabilidade tende a ser maior. Isso indica que os critérios definidos na tabela 1 não são os mais apropriados para delimitar o efeito da estabilidade do item do EP na avaliação de desempenho dos participantes.

Antes de seguir com os testes para avaliação da diferença estatística entre os três pontos da estabilidade, foi preciso avaliar a hipótese de normalidade assumida para aplicar o teste

paramétrico padrão - teste t. Tendo em vista que o número de replicações é razoável (10 para medições iniciais e 30 para intermediárias e finais) e como na inspeção visual dos gráficos de quantil-quantil (*qq-plots*) não foram identificados desvios consideráveis para a completa rejeição da hipótese de normalidade nas diversas combinações de variável, rotação e estágio, decidiu-se pela aplicação do teste t para amostras não-pareadas. O resultado das comparações duas a duas encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - Estatísticas dos testes t de diferença de médias entre as medições de estabilidade realizadas, duas a duas, nos estágios inicial, intermediário e final ao longo da realização do EP

Rotação (rpm)	Pontos Comparados		p-valores		
			Consumo Específico de Combustível	Potência Corrigida	Torque Corrigido
2500	Inicial	Intermediário	0,863	<0,0001	<0,0001
2500	Inicial	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2500	Intermediário	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
3000	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
3000	Inicial	Final	<0,0001	0,00583	0,000288
3000	Intermediário	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
3500	Inicial	Intermediário	0,0455	<0,0001	<0,0001
3500	Inicial	Final	0,0002	0,891	0,92
3500	Intermediário	Final	0,0067	<0,0001	<0,0001
4000	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
4000	Inicial	Final	<0,0001	0,455	0,496
4000	Intermediário	Final	0,0496	<0,0001	<0,0001
4500	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
4500	Inicial	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
4500	Intermediário	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5000	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5000	Inicial	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5000	Intermediário	Final	<0,0001	0,000116	<0,0001
5500	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5500	Inicial	Final	0,273	<0,0001	<0,0001
5500	Intermediário	Final	<0,0001	0,00892	0,00589
6000	Inicial	Intermediário	<0,0001	<0,0001	<0,0001
6000	Inicial	Final	0,635	<0,0001	<0,0001
6000	Intermediário	Final	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Fonte: Dimci/Lapep

Conforme observado, em poucos casos o p-valor do teste t foi maior do que o nível de significância pré-estabelecido de 5% (assinalados em fonte na cor azul), isto é, a grande maioria dos resultados dos testes indica a rejeição (assinalados em fonte na cor vermelha) da hipótese de

não alteração do valor médio das medições entre os dois referidos estágios. Sendo assim, as medições iniciais, intermediárias e finais diferem estatisticamente entre si.

No plano de trabalho deste EP foi previsto o uso de testes paramétricos e/ou não paramétricos para avaliar se havia diferença significativa entre os pontos de estudo de estabilidade do item do EP. Essa abordagem tem uma aplicabilidade limitada na tomada de decisão quanto ao efeito da estabilidade na avaliação do desempenho dos participantes, já que ela permite apenas concluir se as diferenças observadas entre os pontos do estudo de estabilidade são estatisticamente diferentes.

Os testes paramétricos e/ou não paramétricos, bem como os limites de aceitação definidos na tabela 1, foram estabelecidos no plano de trabalho para a avaliação da estabilidade do item do EP. O uso destes critérios mostrou-se inadequado na avaliação dos dados obtidos no estudo de estabilidade e como alternativa foi utilizado o procedimento previsto na Norma ISO 13528, que prevê a estimativa da incerteza-padrão do valor de consenso. A instabilidade do item do EP está contemplada como uma das fontes da incerteza do valor de consenso. A partir desta incerteza foi possível avaliar se a instabilidade do item do EP foi significativa, de tal modo que afetasse a avaliação de desempenho dos participantes [2]. Essa abordagem está descrita na subseção 2.2 deste relatório e é discutida com mais detalhes na subseção 3.3.

3.2. Resultados dos Participantes

Os resultados reportados pelos participantes são apresentados nas tabelas 8, 9 e 10 e incluem a média das 10 medições com seus respectivos desvios-padrão.

Neste relatório cada participante é identificado pelos últimos caracteres numéricos do seu código de identificação nas tabelas, gráficos e textos.

Nota 1 – Foram consideradas todas as casas decimais para os cálculos realizados, porém nas tabelas desta seção os valores estão arredondados com os mesmos números de casas decimais solicitados no formulário de resultados.

Tabela 8 – Média e desvio-padrão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kW.h.

Participante	Rotação (rpm)															
	2500		3000		3500		4000		4500		5000		5500		6000	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
3	369,10	1,55	401,32	1,20	415,31	1,25	429,13	1,54	405,40	1,38	424,84	1,30	429,88	1,88	448,75	1,46
6	378,82	1,08	405,74	0,90	418,14	0,51	434,50	1,51	405,47	0,45	427,14	1,50	430,51	1,28	448,79	1,27
7	374,35	4,48	406,73	4,31	421,29	3,49	435,80	1,85	409,47	1,82	427,83	1,68	432,15	1,39	448,89	2,16
16	364,04	0,52	394,34	0,70	414,78	0,49	431,79	0,65	403,06	0,43	423,18	0,62	426,63	0,56	441,62	1,34
17	369,18	0,85	397,64	0,46	417,75	0,97	429,91	0,57	405,56	0,42	422,10	0,51	424,44	0,51	445,69	0,42
19	377,25	0,77	414,16	0,51	421,54	0,61	437,93	1,35	415,46	0,88	429,73	1,25	447,80	0,84	454,61	2,18
29	353,74	0,37	369,87	0,19	368,08	0,44	382,95	0,51	375,53	0,41	391,37	0,31	414,83	0,39	445,59	0,32
41	366,78	2,75	395,78	1,45	405,24	1,72	422,73	7,54	403,40	8,30	421,75	0,87	423,20	2,06	443,06	2,03
45	372,74	3,43	402,34	8,63	421,86	2,32	440,10	3,58	407,89	2,72	424,04	2,47	424,07	5,30	446,44	2,27
48	371,77	1,71	401,80	2,28	406,38	2,68	419,52	3,35	401,50	1,80	416,71	2,91	427,37	2,76	442,90	3,72

Fonte: Dimci/Lapep

Tabela 9 – Média e desvio-padrão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW.

Participante	Rotação (rpm)															
	2500		3000		3500		4000		4500		5000		5500		6000	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
3	42,07	0,12	50,62	0,12	61,91	0,11	71,58	0,18	82,26	0,20	89,15	0,13	95,49	0,40	98,35	0,28
6	41,96	0,11	50,53	0,14	61,53	0,17	71,14	0,30	82,33	0,21	89,04	0,26	94,91	0,19	98,19	0,28
7	41,43	0,08	49,86	0,07	61,05	0,10	70,98	0,11	81,85	0,09	88,71	0,11	94,73	0,11	97,77	0,08
16	42,16	0,04	50,62	0,04	61,11	0,08	71,24	0,08	82,54	0,06	89,52	0,05	95,50	0,03	99,45	0,28
17	42,47	0,07	51,00	0,09	62,58	0,07	72,30	0,11	83,03	0,10	90,07	0,11	96,05	0,12	99,01	0,16
19	41,96	0,02	50,32	0,09	61,55	0,05	71,22	0,09	81,72	0,07	88,20	0,08	94,31	0,08	97,26	0,26
29	41,60	0,02	50,10	0,04	60,66	0,06	70,51	0,04	80,75	0,05	87,64	0,04	93,56	0,05	96,87	0,13
41	42,40	0,05	50,99	0,04	62,25	0,08	73,32	3,36	82,05	3,50	90,07	0,28	96,54	0,29	99,63	0,41
45	42,18	0,07	50,76	0,12	62,51	0,36	70,37	0,56	83,52	0,30	90,63	0,32	96,99	0,40	100,05	0,38
48	42,20	0,14	50,84	0,19	62,76	0,27	72,70	0,38	82,86	0,32	89,57	0,36	95,17	0,58	97,59	0,70

Fonte: Dimci/Lapep

Tabela 10 – Média e desvio-padrão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m.

Participante	Rotação (rpm)															
	2500		3000		3500		4000		4500		5000		5500		6000	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
3	160,71	0,46	161,13	0,37	168,92	0,29	170,89	0,42	174,56	0,42	170,26	0,26	165,80	0,69	156,52	0,45
6	160,30	0,42	160,87	0,44	167,90	0,46	169,87	0,72	174,72	0,45	170,06	0,49	164,81	0,32	156,28	0,44
7	158,39	0,31	158,81	0,20	166,75	0,26	169,57	0,25	173,79	0,20	169,50	0,20	164,59	0,18	155,69	0,16
16	161,04	0,15	161,13	0,14	166,73	0,21	170,07	0,20	175,15	0,13	170,98	0,10	165,81	0,05	158,28	0,45
17	162,21	0,27	162,36	0,28	170,72	0,18	172,60	0,26	176,20	0,21	172,04	0,21	166,77	0,19	157,57	0,25
19	160,27	0,07	160,17	0,26	167,95	0,13	170,03	0,21	173,42	0,15	168,44	0,15	163,75	0,13	154,80	0,41
29	158,90	0,07	159,47	0,12	165,49	0,18	168,33	0,10	171,37	0,11	167,39	0,08	162,44	0,09	154,18	0,20
41	161,94	0,19	162,29	0,12	169,83	0,22	172,84	1,09	176,02	1,43	172,03	0,53	167,62	0,50	158,56	0,64
45	160,89	0,27	161,46	0,35	170,23	0,99	171,41	0,72	176,98	0,61	172,80	0,60	168,21	0,69	159,04	0,61
48	161,18	0,53	161,86	0,61	171,23	0,73	173,57	0,90	175,84	0,66	171,07	0,67	165,34	0,99	155,45	1,02

Fonte: Dimci/Lapep

3.3. Valores Designados

Os valores designados e os desvios-padrão do EP foram calculados segundo o procedimento descrito na subseção 2.4.1. Nas tabelas 11, 12 e 13 são apresentados o valor designado, o seu respectivo desvio-padrão e incerteza-padrão e o desvio-padrão do EP para todos os 3 parâmetros avaliados neste EP.

Para efeitos de comparação, a média dos resultados dos participantes com seu respectivo desvio-padrão também são apresentados nas tabelas.

Tabela 11 - Valor designado, desvio-padrão e incerteza-padrão do valor designado e desvio-padrão para avaliação da proficiência do EP – Consumo Específico de Combustível em g/kW.h.

Rotação (rpm)	Valor Designado	Desvio-padrão	Incerteza-padrão	Desvio-padrão do EP	Média dos Participantes*	Desvio-padrão (média)*
2500	370,49	6,42	2,54	6,90	369,78	7,24
3000	400,71	7,48	2,96	8,04	398,97	11,75
3500	414,43	8,30	3,28	8,93	411,04	16,20
4000	429,75	9,07	3,59	9,76	426,43	16,57
4500	405,22	4,34	1,72	4,67	403,27	10,52
5000	423,29	5,17	2,04	5,56	420,87	10,99
5500	427,28	5,52	2,18	5,94	428,09	8,47
6000	446,36	3,68	1,45	3,96	446,63	3,82

Fonte: Dimci/Lapep

*Sem a remoção de valores suspeitos.

Tabela 12 - Valor designado, desvio-padrão e incerteza-padrão do valor designado e desvio-padrão para avaliação da proficiência do EP – Potência Corrigida em kW.

Rotação (rpm)	Valor Designado	Desvio-padrão	Incerteza-padrão	Desvio-padrão do EP	Média dos Participantes	Desvio-padrão (média)
2500	42,05	0,34	0,14	0,37	42,04	0,32
3000	50,58	0,40	0,16	0,43	50,57	0,37
3500	61,79	0,82	0,32	0,88	61,79	0,72
4000	71,51	1,01	0,40	1,09	71,54	0,95
4500	82,33	0,77	0,31	0,83	82,29	0,77
5000	89,27	1,01	0,40	1,08	89,26	0,91
5500	95,33	1,16	0,46	1,25	95,33	1,03
6000	98,42	1,22	0,48	1,31	98,42	1,08

Fonte: Dimci/Lapep

Tabela 13 - Valor designado, desvio-padrão e incerteza-padrão do valor designado e desvio-padrão para avaliação da proficiência do EP – Torque Corrigido em N.m.

Rotação (rpm)	Valor Designado	Desvio-padrão	Incerteza-padrão	Desvio-padrão do EP	Média dos Participantes	Desvio-padrão (média)
2500	160,61	1,30	0,51	1,40	160,58	1,20
3000	160,98	1,26	0,50	1,36	160,96	1,17
3500	168,57	2,18	0,86	2,34	168,57	1,92
4000	170,92	1,89	0,75	2,03	170,92	1,66
4500	174,93	1,57	0,62	1,69	174,80	1,64
5000	170,49	1,84	0,73	1,98	170,46	1,69
5500	165,53	1,94	0,77	2,08	165,51	1,75
6000	156,64	1,89	0,75	2,03	156,64	1,66

Fonte: Dimci/Lapep

Na avaliação dos resultados dos participantes foi identificado que os resultados do participante 29 para as medições de consumo específico de combustível (2500 a 5500 rpm) apresentaram desvios negativos em relação ao valor médio dos demais participantes e esses valores foram considerados suspeitos. O resultado da medição do participante 19 para o consumo específico de combustível (5500 rpm) também foi identificado com um valor suspeito. Os resultados na tabela 11 demonstram que a presença desses valores suspeitos aumenta os desvios-padrão da média dos resultados dos participantes, mas o emprego da análise robusta (algoritmo A) minimiza esse efeito, reduzindo em alguns casos, o desvio-padrão do valor designado em mais de 50%. Para os parâmetros torque corrigido e potência corrigida não foram identificados valores suspeitos e, nesses casos o valor médio dos resultados dos participantes com seus respectivos desvios-padrão são similares aos obtidos na análise robusta.

As incertezas-padrão dos valores designados foram utilizadas para avaliar o efeito da instabilidade do item do EP durante a circulação entre os participantes. Conforme definido na subseção 2.2, caso o valor dessa incerteza fosse superior a 30% do desvio-padrão do valor designado, ela seria incorporada no valor do desvio-padrão do EP, de modo minimizar os efeitos dessa instabilidade na avaliação de desempenho dos participantes.

A incerteza-padrão de todos os valores designados descritos nas tabelas 11, 12 e 13 são superiores a 39% do valor do desvio-padrão de cada valor designado, logo essa incerteza foi considerada no cálculo do desvio-padrão do EP.

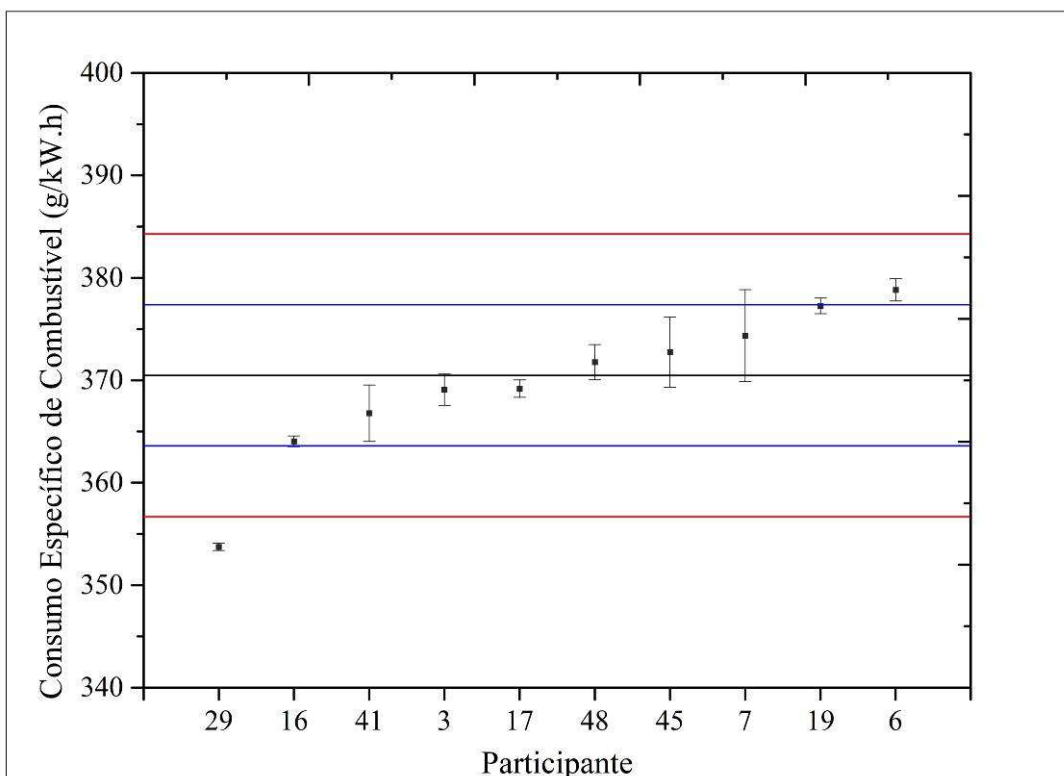
4. Dispersão dos Resultados

Na apresentação dos gráficos para os 3 parâmetros medidos, o valor designado do EP é representado por uma linha contínua preta. As linhas azul e vermelha são, respectivamente, representações de $x_{pt} \pm 1\sigma_{pt}$ e $x_{pt} \pm 2\sigma_{pt}$, onde “ x_{pt} ” é o valor designado e σ_{pt} é o desvio-padrão do EP.

4.1. Consumo Específico de Combustível

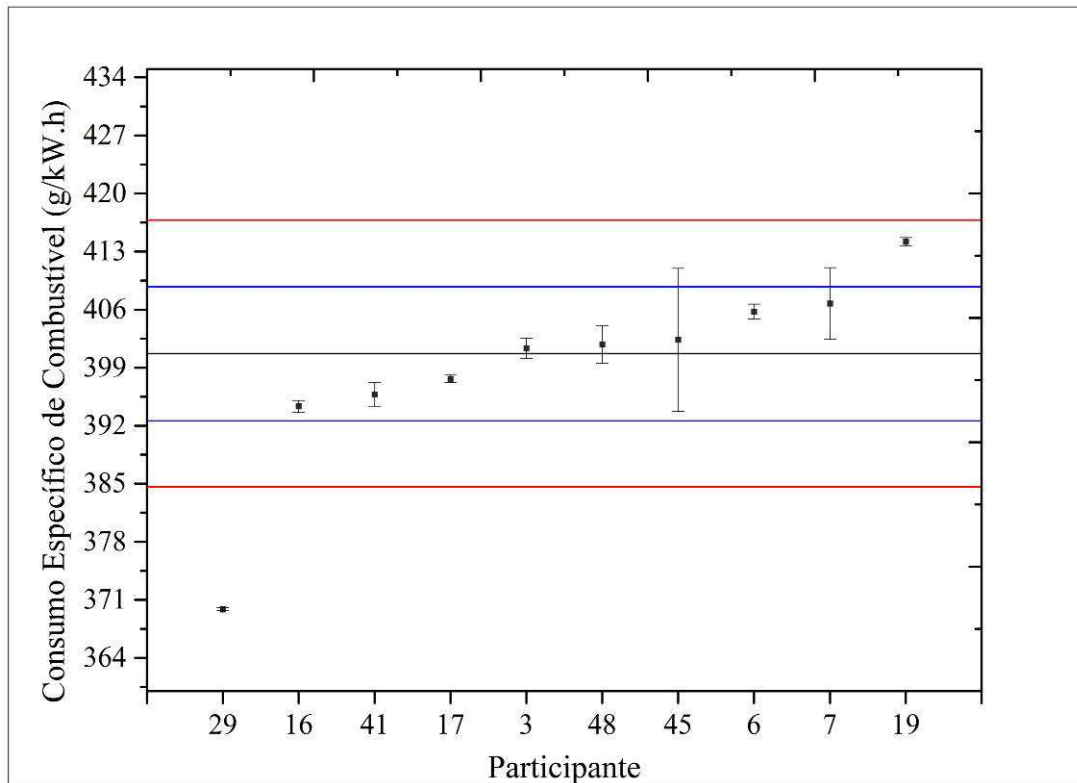
As figuras 4 a 11 apresentam graficamente as médias e os desvios-padrão dos resultados reportados para os dados de emissão pelos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh para cada rotação aplicada.

Figura 4 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 2500 rpm.



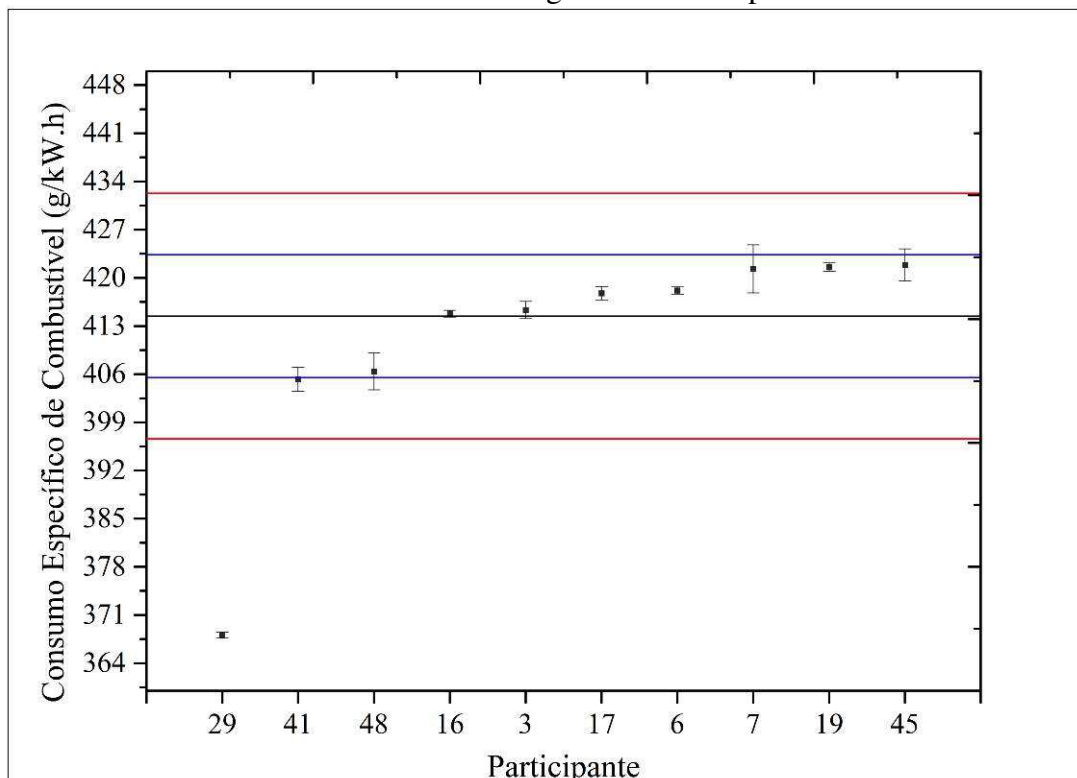
Fonte:Dimci/Lapep

Figura 5 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para os parâmetros Consumo Específico de Combustível- 3000 rpm.



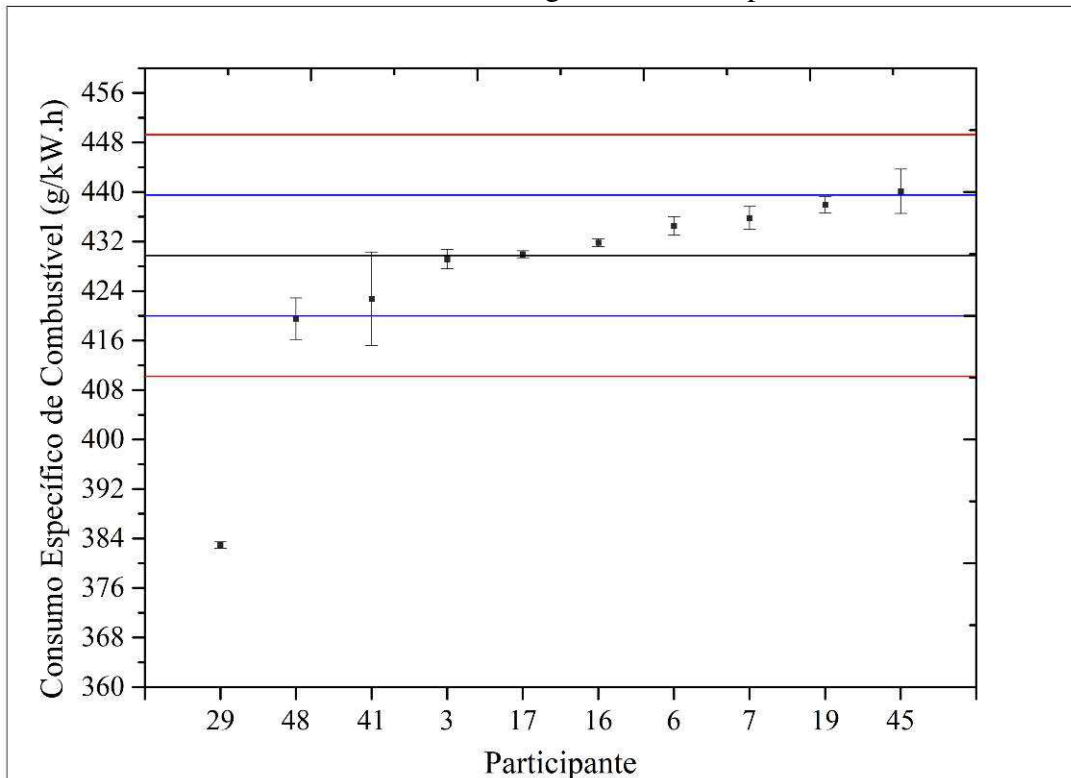
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 6 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 3500 rpm.



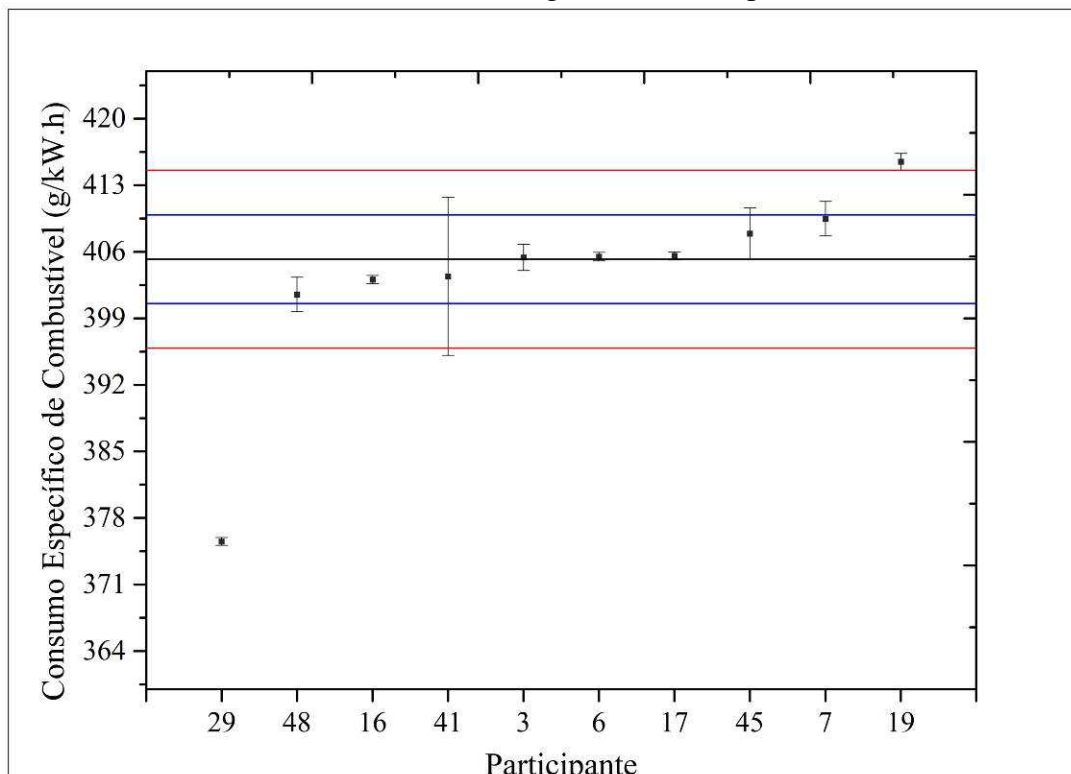
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 7 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 4000 rpm.



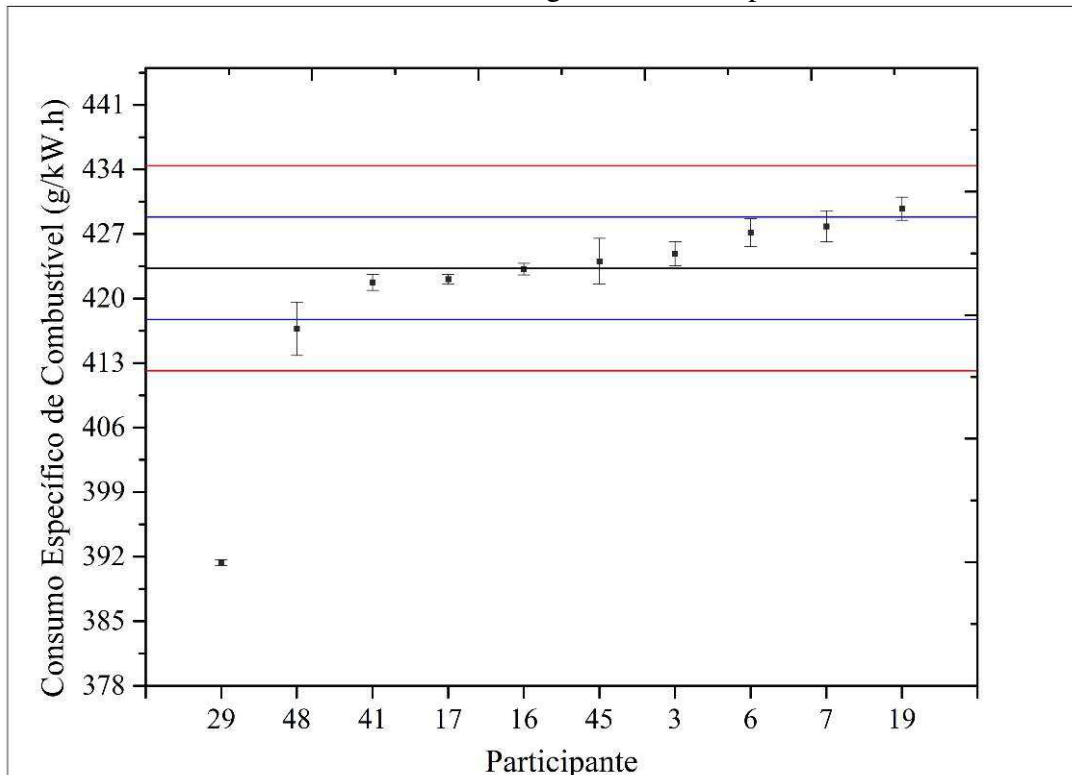
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 8 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 4500 rpm.



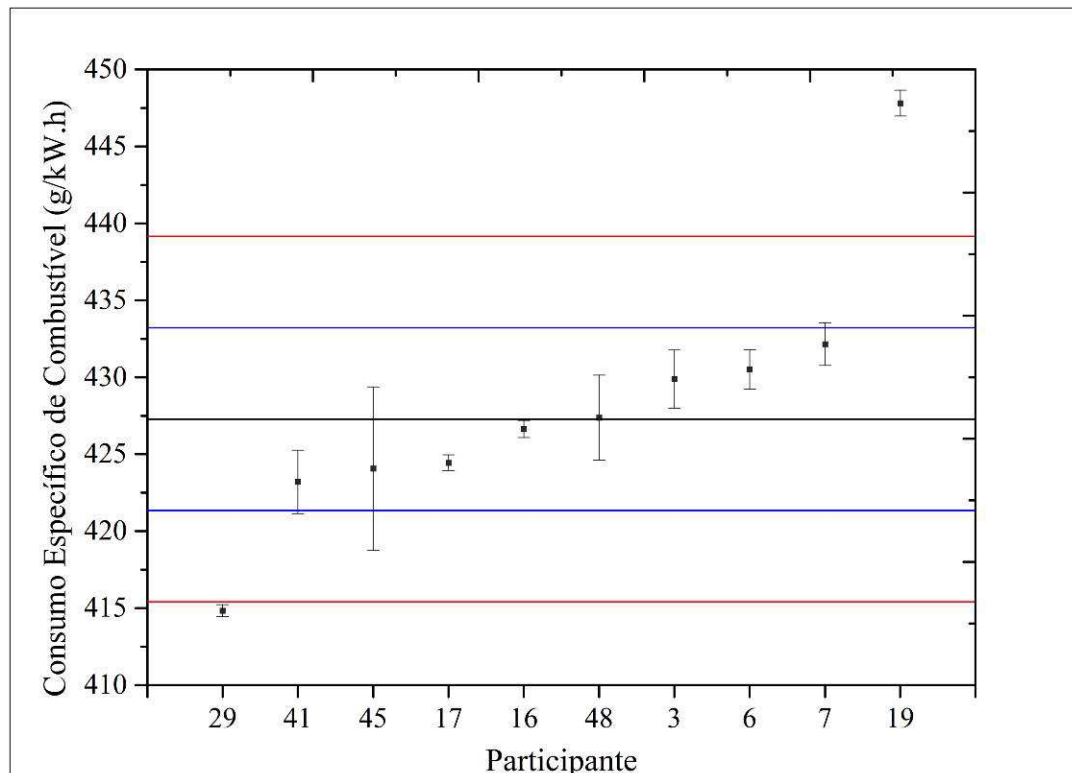
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 9 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 5000 rpm.



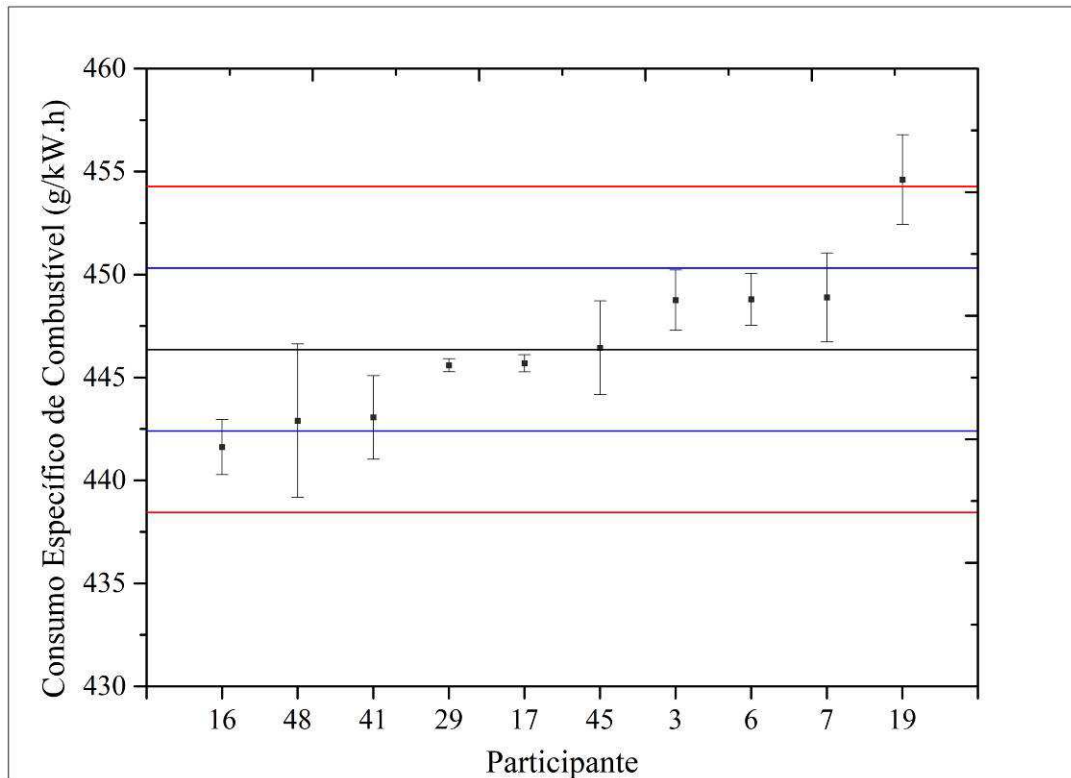
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 10 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 5500 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 11 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Consumo Específico de Combustível em g/kWh – 6000 rpm.

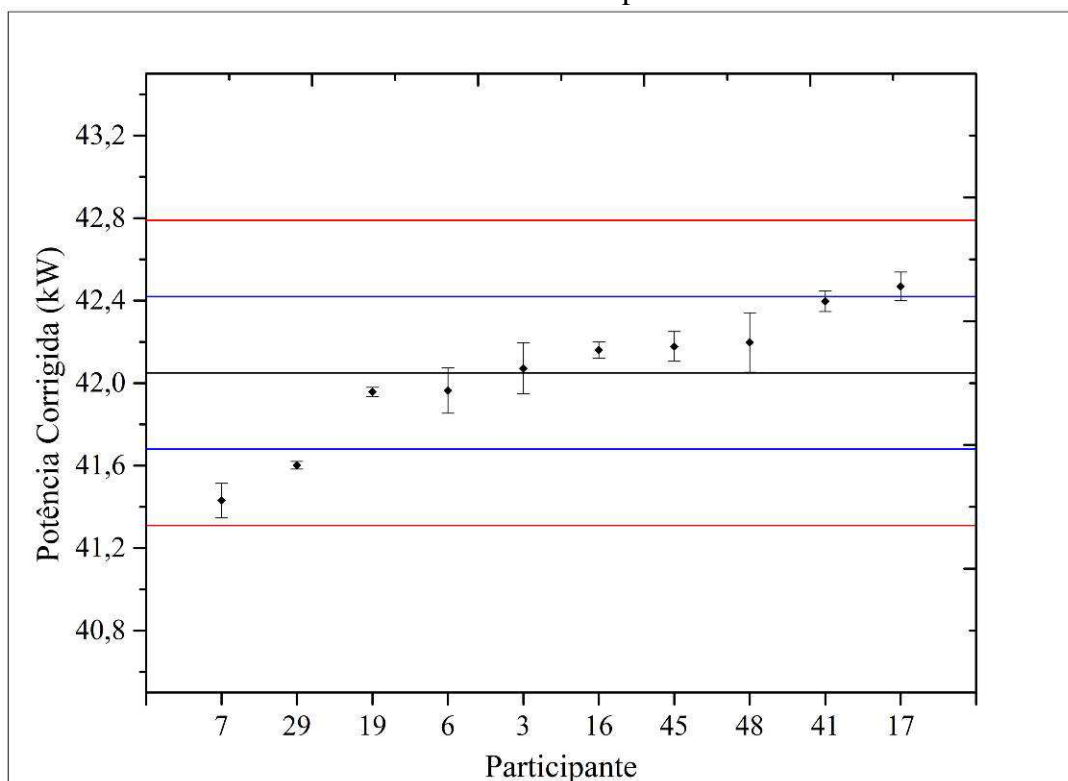


Fonte: Dimci/Lapep

4.2. Potência Corrigida

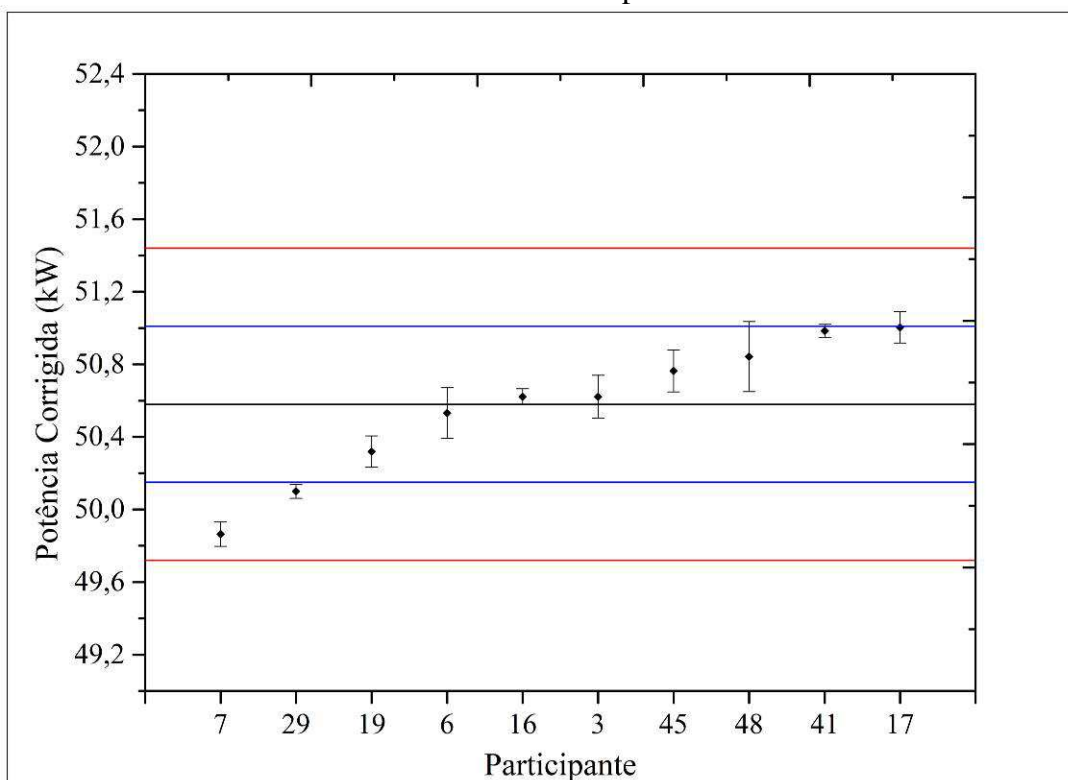
As figuras 12 a 19 apresentam graficamente as médias e os desvios-padrão dos resultados reportados para os dados de emissão pelos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW para cada rotação aplicada.

Figura 12 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 2500 rpm.



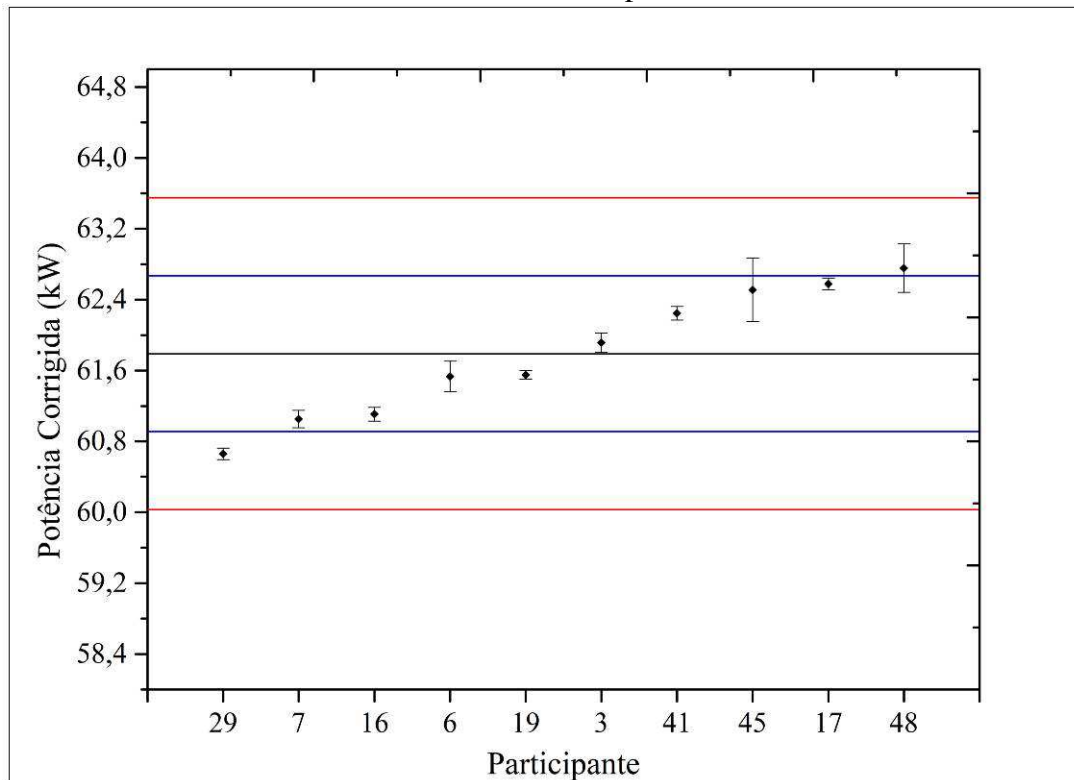
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 13 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 3000 rpm.



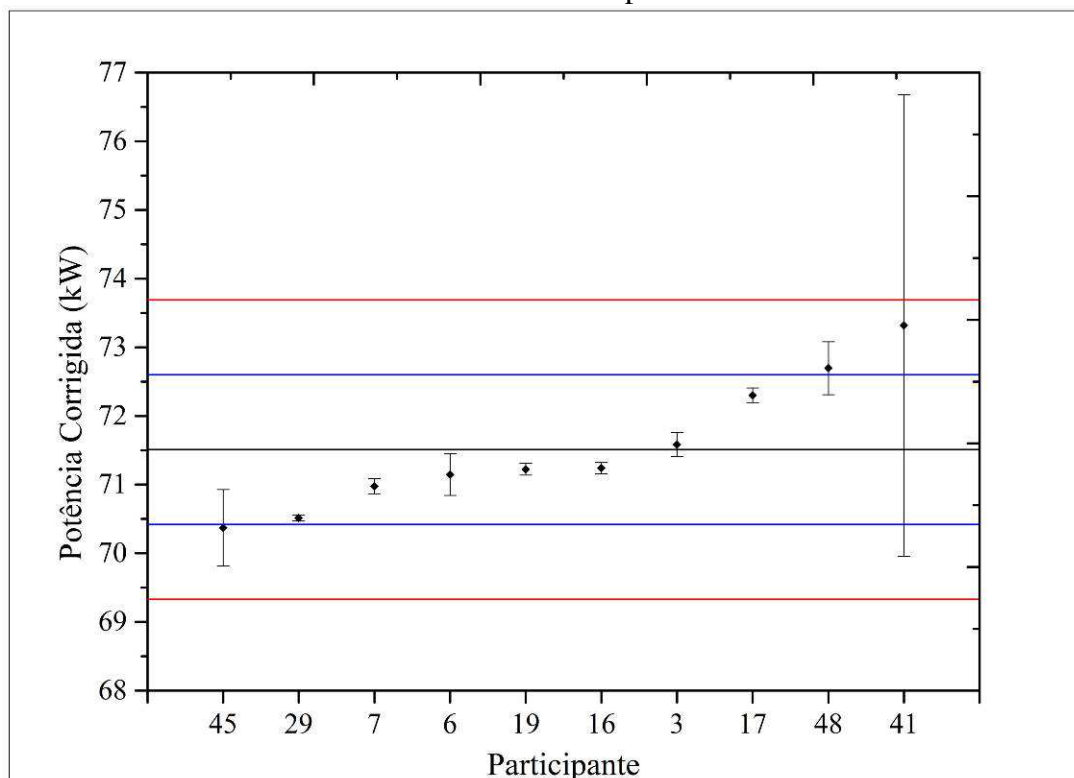
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 14 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 3500 rpm.



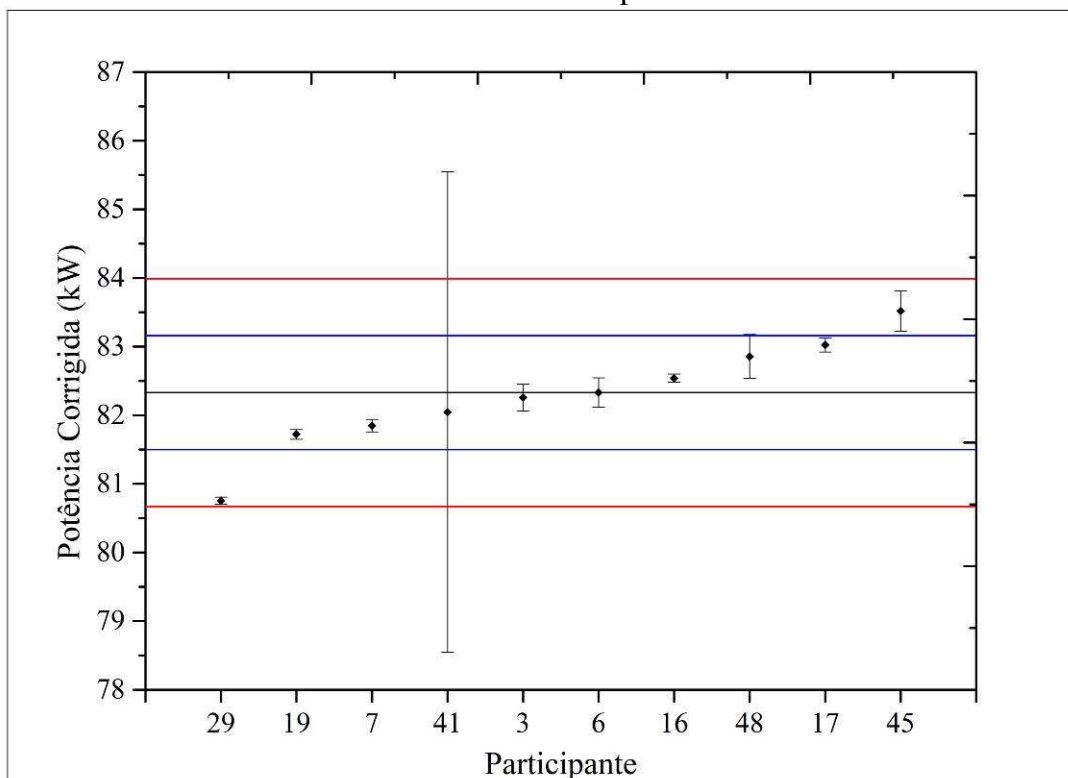
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 15 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 4000 rpm.



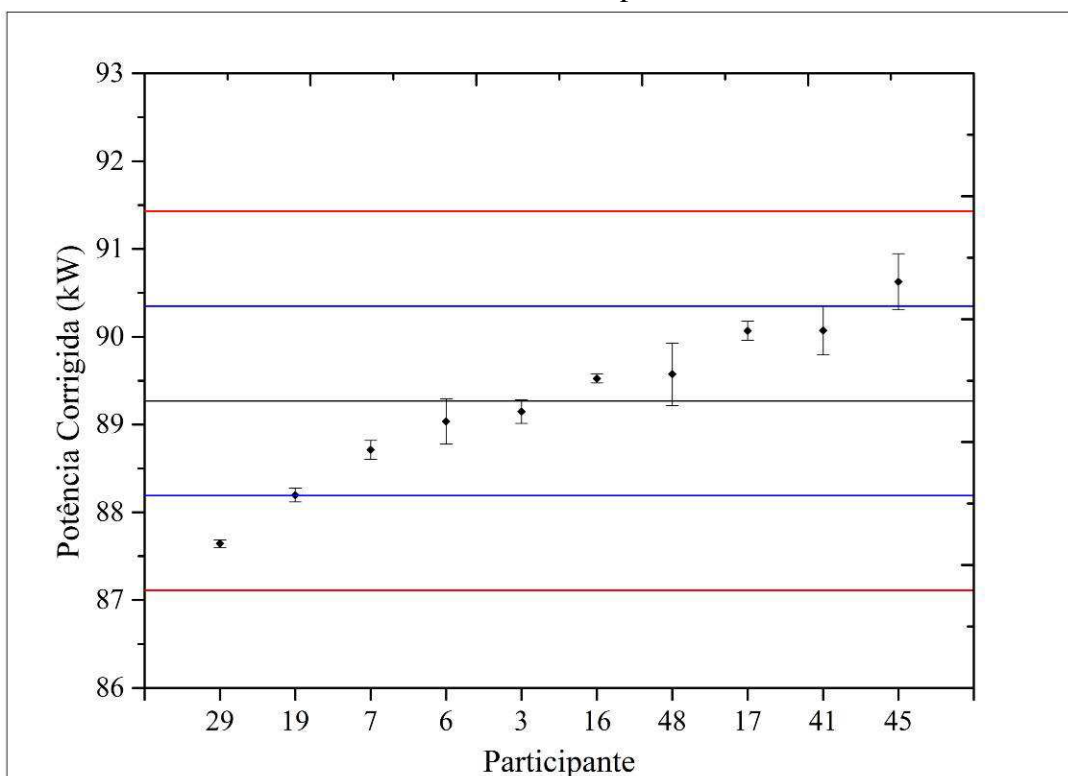
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 16 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 4500 rpm.



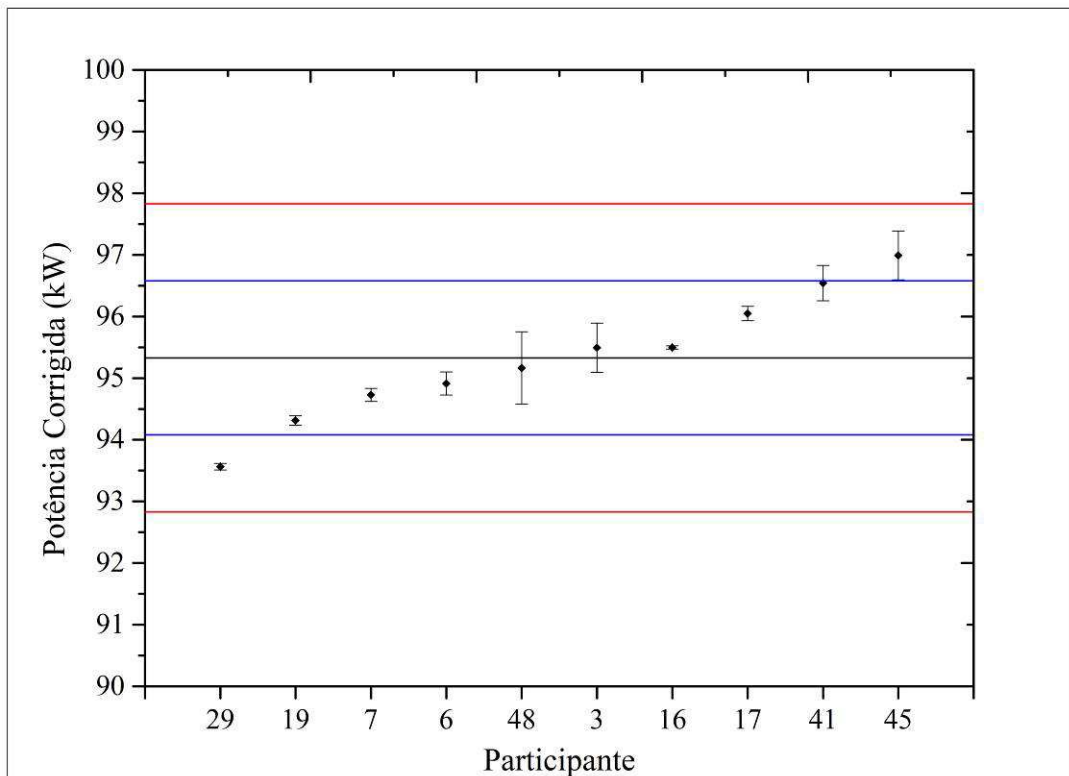
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 17 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 5000 rpm.



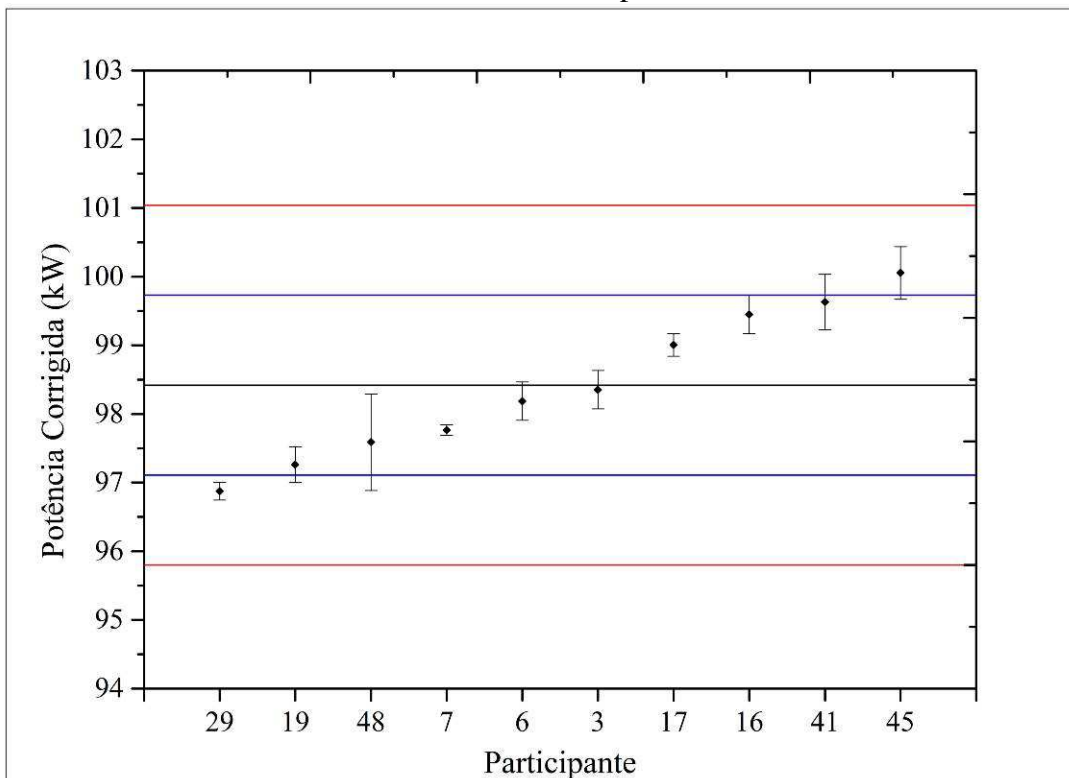
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 18 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 5500 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 19 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Potência Corrigida em kW – 6000 rpm.

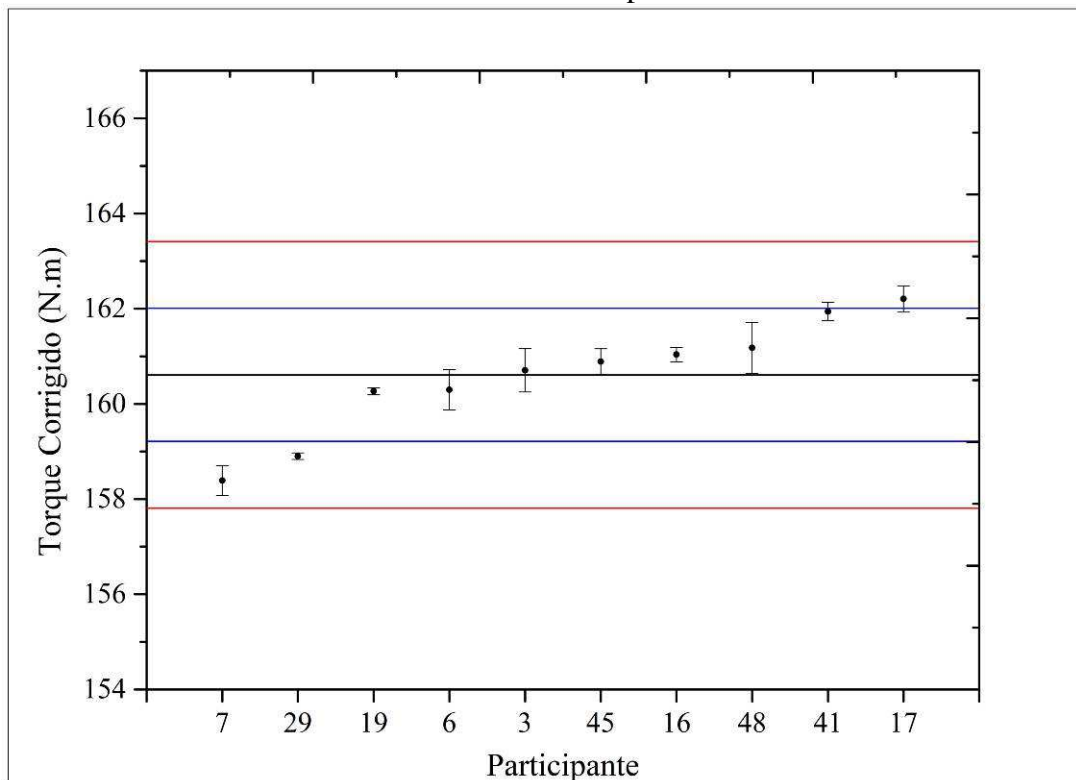


Fonte: Dimci/Lapep

4.3. Torque Corrigido

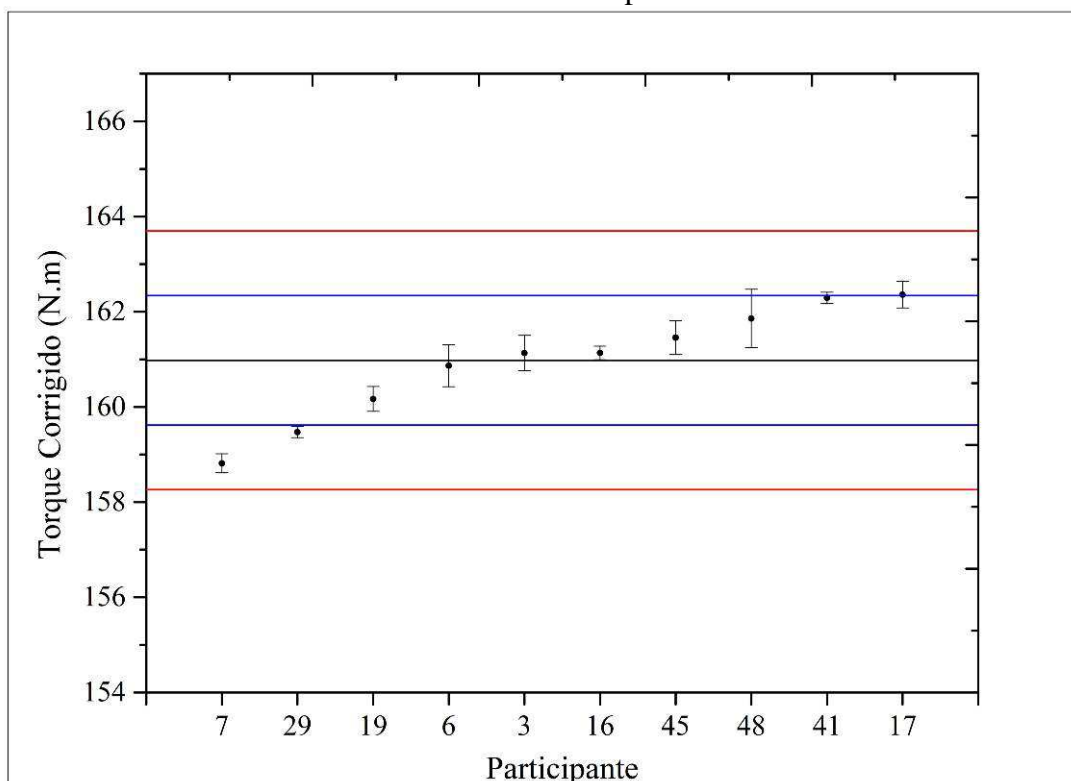
As figuras 20 a 27 apresentam graficamente as médias e os desvios-padrão dos resultados reportados para os dados de emissão pelos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m para cada rotação aplicada.

Figura 20- Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 2500 rpm.



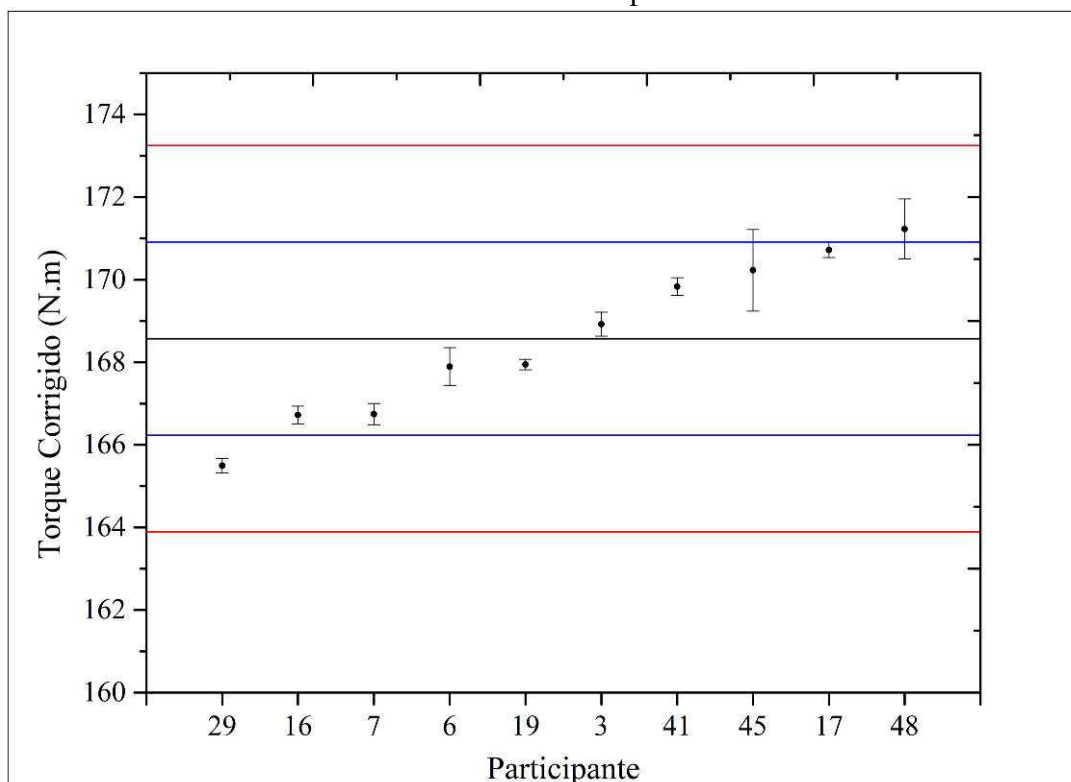
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 21 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 3000 rpm.



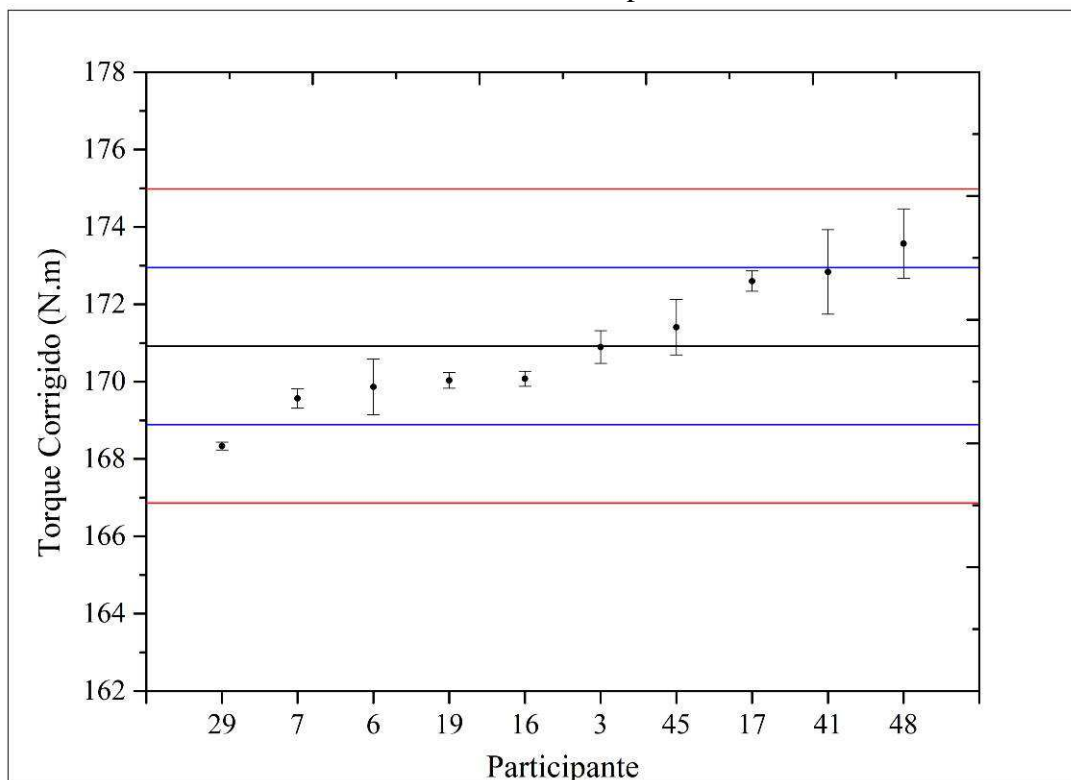
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 22 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 3500 rpm.



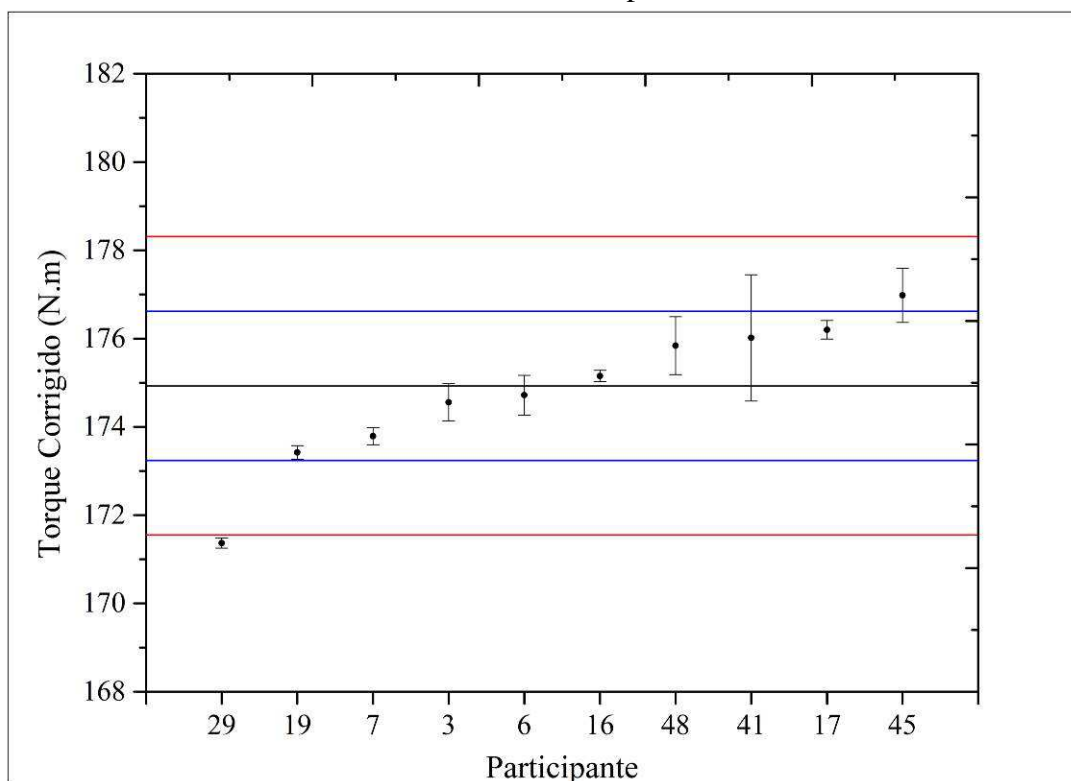
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 23 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 4000 rpm.



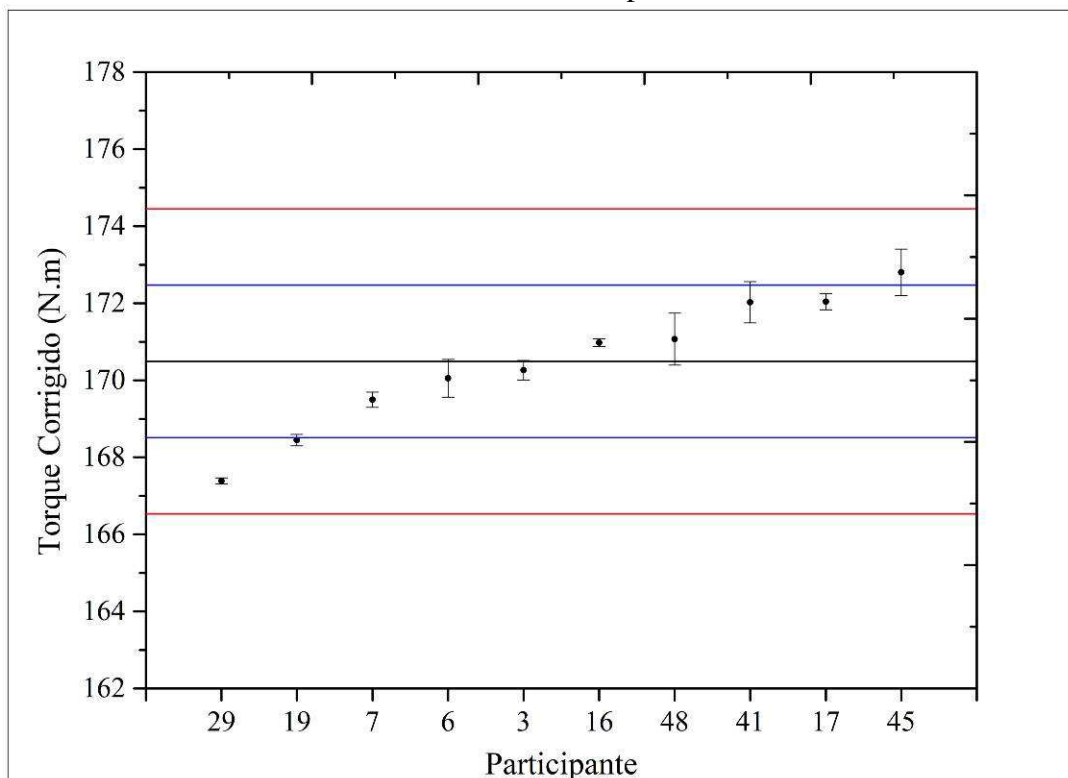
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 24 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 4500 rpm.



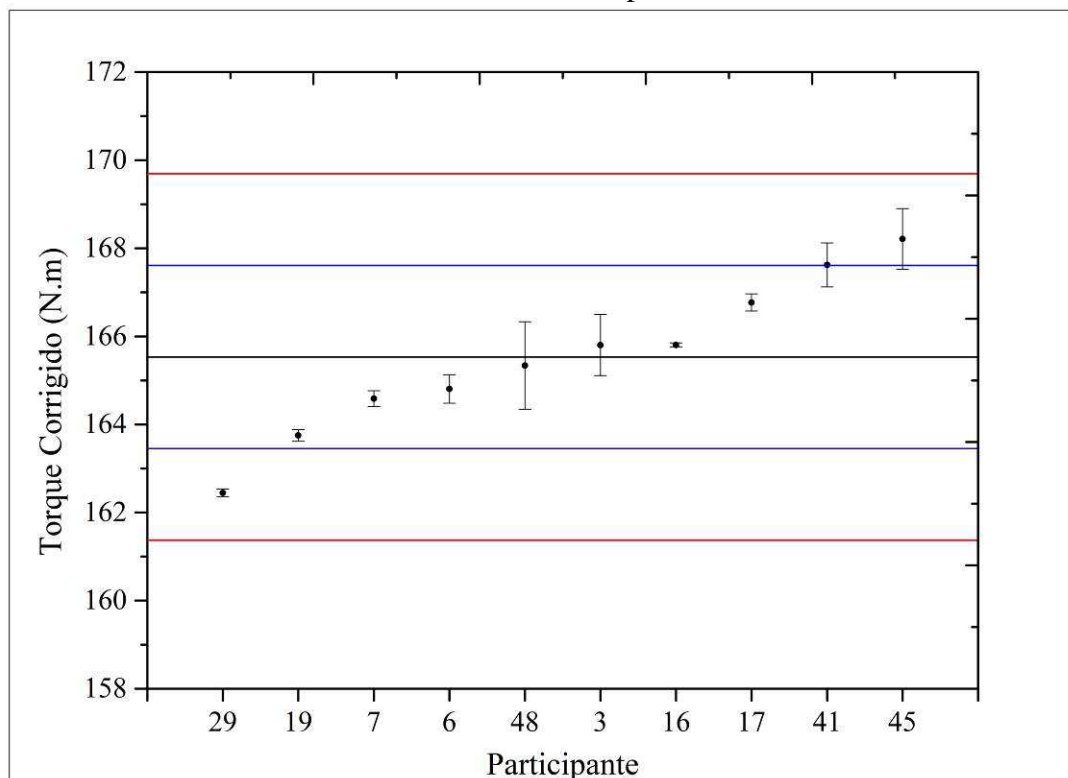
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 25 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 5000 rpm.



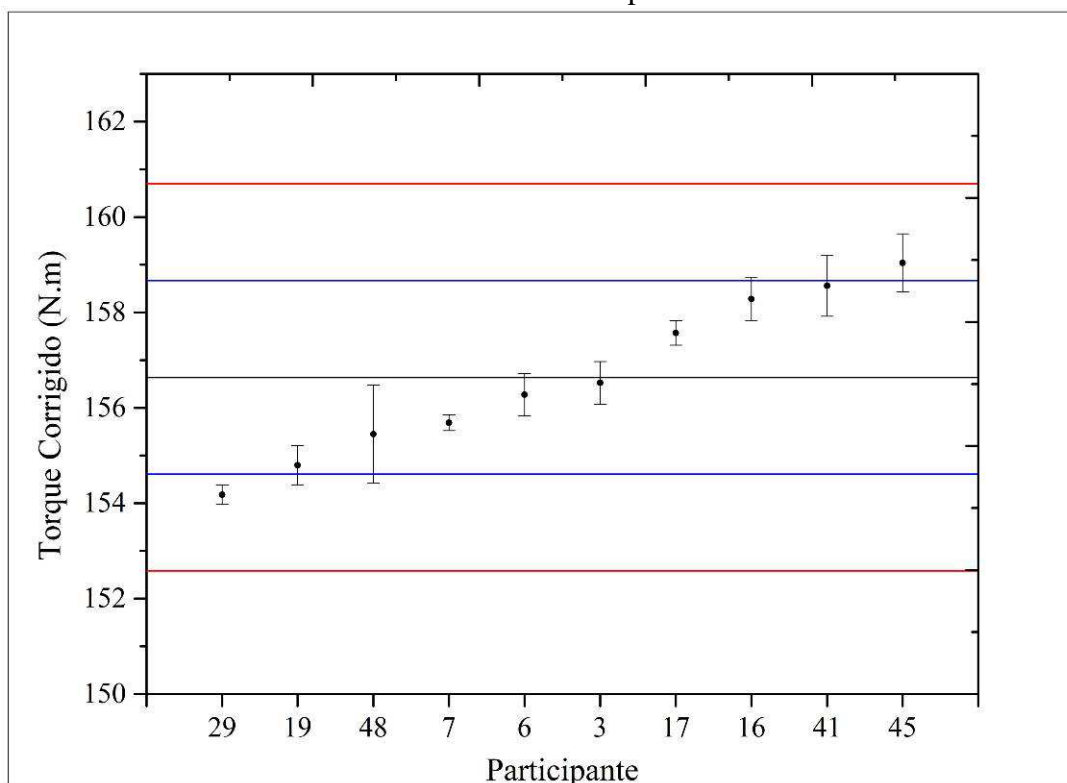
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 26 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 5500 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 27 - Gráfico de dispersão dos resultados dos participantes para o parâmetro Torque Corrigido em N.m – 6000 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

5. Avaliação de desempenho

5.1. Índice z'

Na avaliação do efeito da instabilidade do item do EP foi identificado que a incerteza-padrão do valor designado não pode ser desconsiderada na avaliação de desempenho dos participantes. Por conta deste efeito, a avaliação de desempenho dos participantes para os parâmetros medidos neste EP foi realizada por meio do índice z' (conforme descrito na subseção 2.4.2 deste relatório).

5.1.1. Consumo Específico de Combustível

Na tabela 14 e nas figuras de 28 a 35 são apresentadas as avaliações de desempenho dos participantes, expressa por meio do índice z' para o parâmetro de Consumo Específico de Combustível para cada rotação aplicada.

Tabela 14– Valores de índice z' para o parâmetro Consumo Específico de Combustível.

Participante	Rotação (rpm)							
	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'
3	-0,20	0,08	0,10	-0,06	0,04	0,28	0,44	0,60
6	1,21	0,63	0,42	0,49	0,05	0,69	0,54	0,61
7	0,56	0,75	0,77	0,62	0,91	0,82	0,82	0,64
16	-0,94	-0,79	0,04	0,21	-0,46	-0,02	-0,11	-1,20
17	-0,19	-0,38	0,37	0,02	0,07	-0,21	-0,48	-0,17
19	0,98	1,67	0,80	0,84	2,19	1,16	3,20	2,08
29	-2,43	-3,20	-3,20	-3,20	-3,20	-3,20	-2,10	-0,19
41	-0,54	-0,61	-1,03	-0,72	-0,39	-0,28	-0,69	-0,83
45	0,33	0,20	0,83	1,06	0,57	0,14	-0,54	0,02
48	0,19	0,14	-0,90	-1,05	-0,80	-1,18	0,02	-0,87

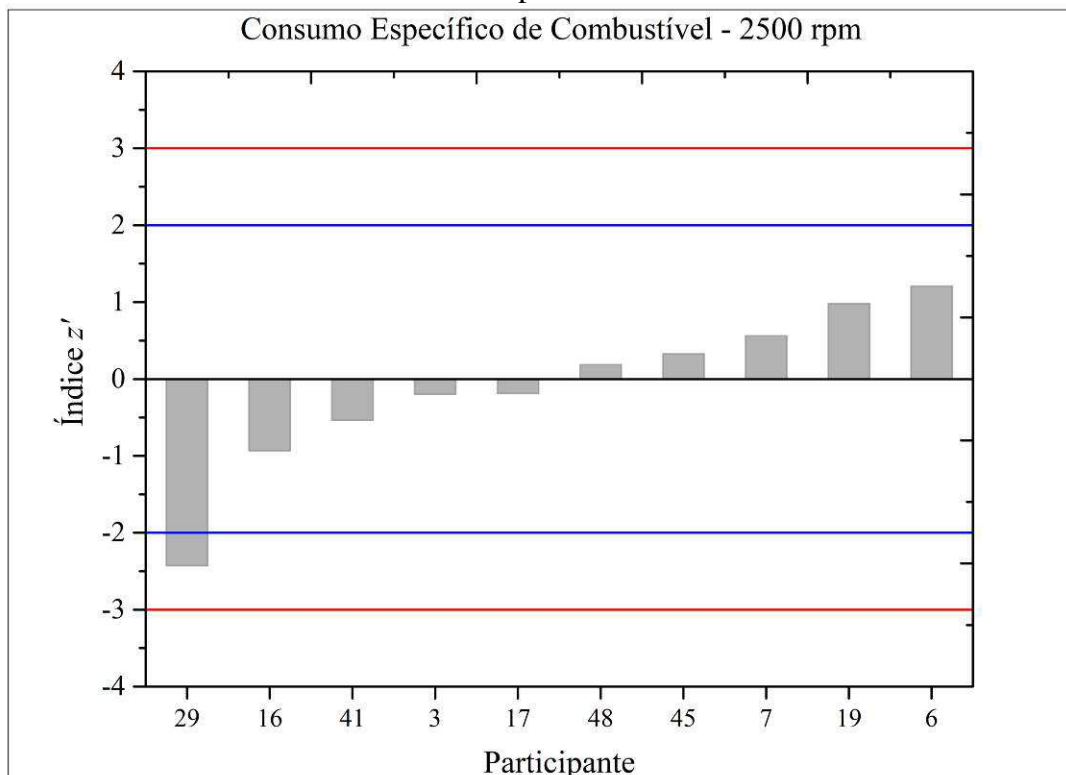
Fonte: Dimci/Lapep

* Resultado satisfatório

* Resultado questionável

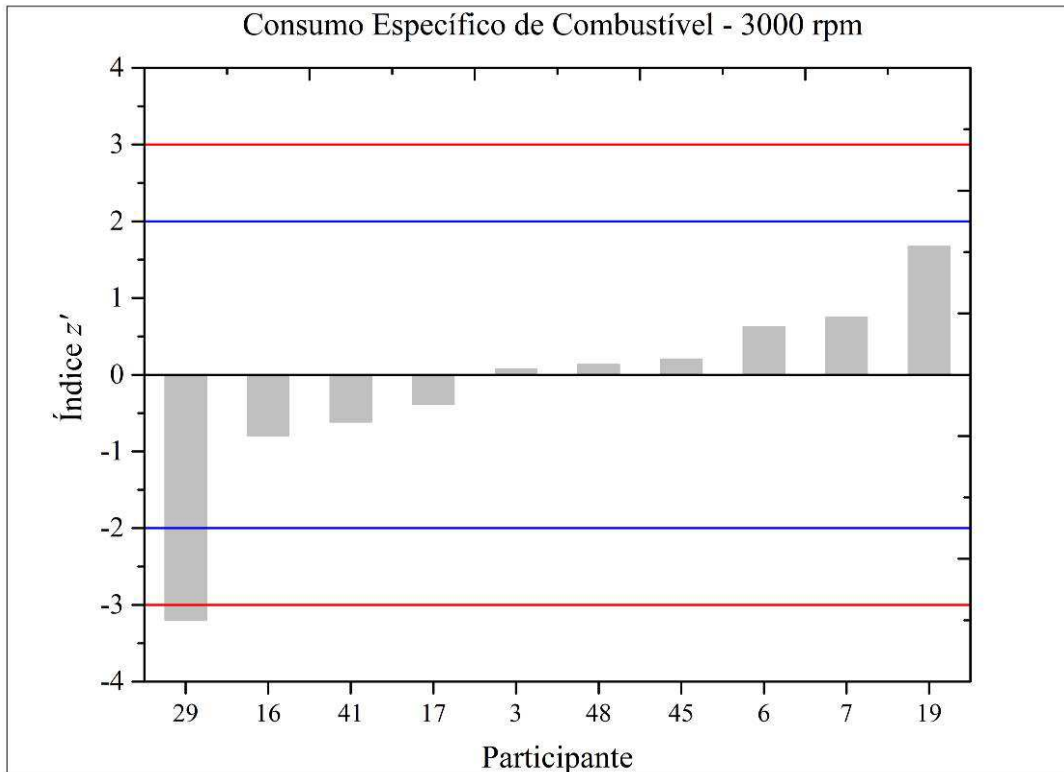
* Resultado insatisfatório

Figura 28 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 2500 rpm.



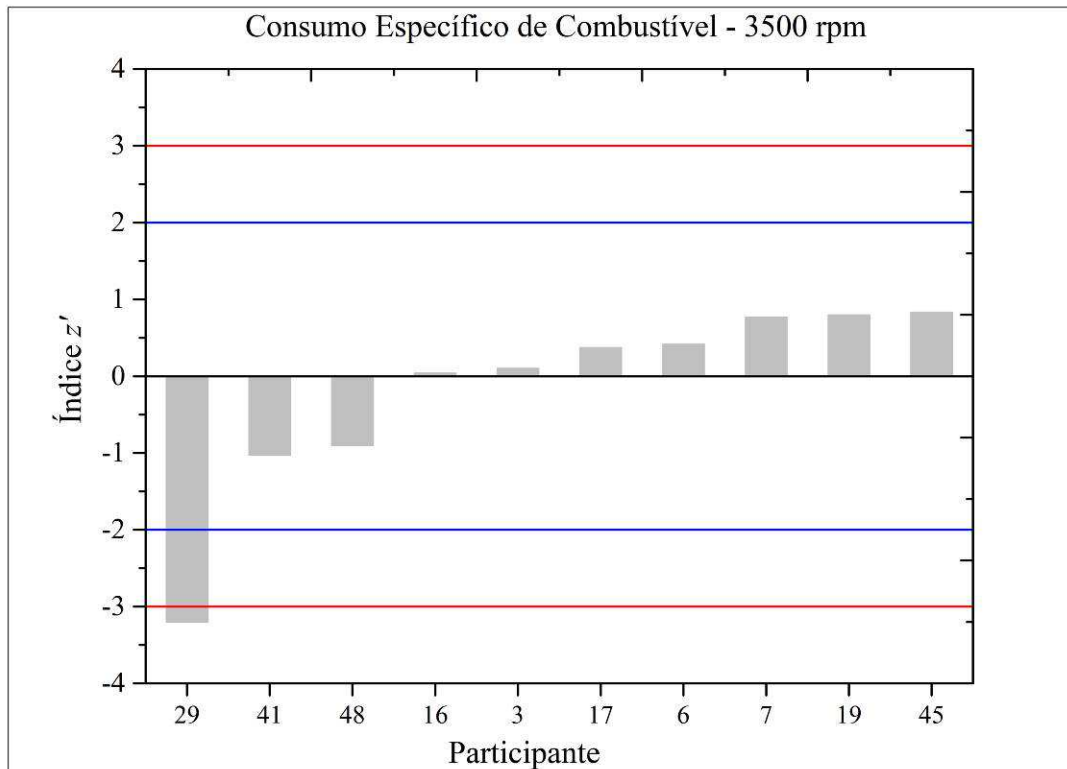
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 29 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 3000 rpm.



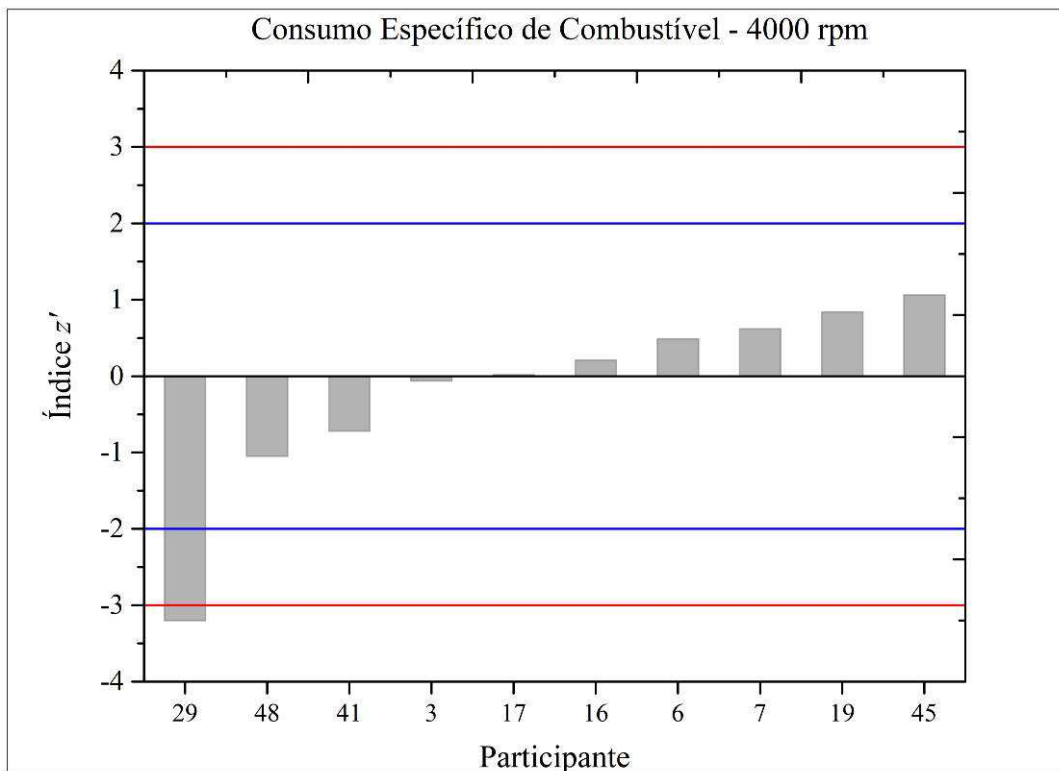
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 30 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 3500 rpm.



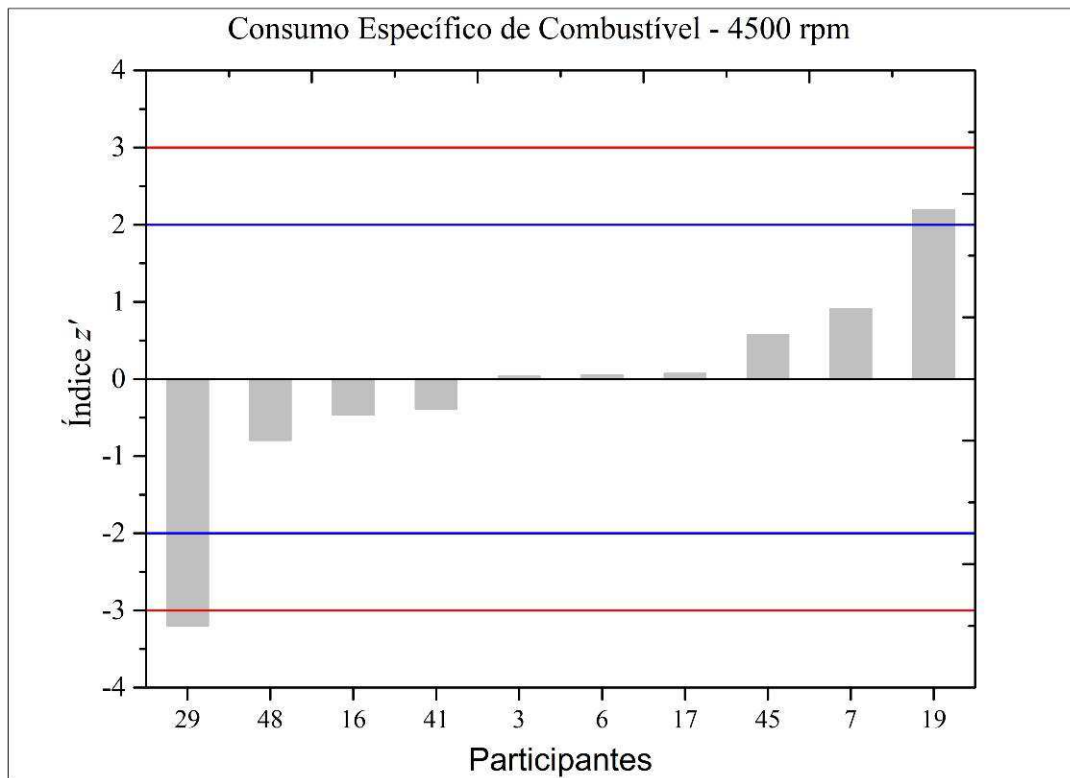
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 31 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 4000 rpm.



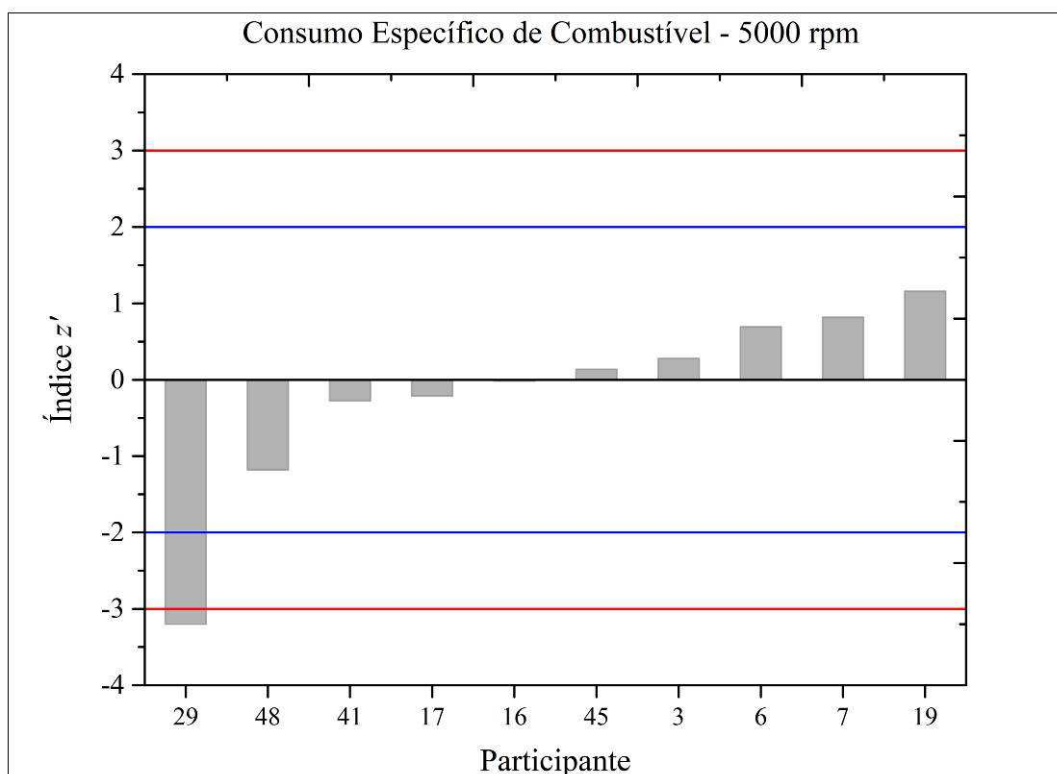
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 32 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 4500 rpm.



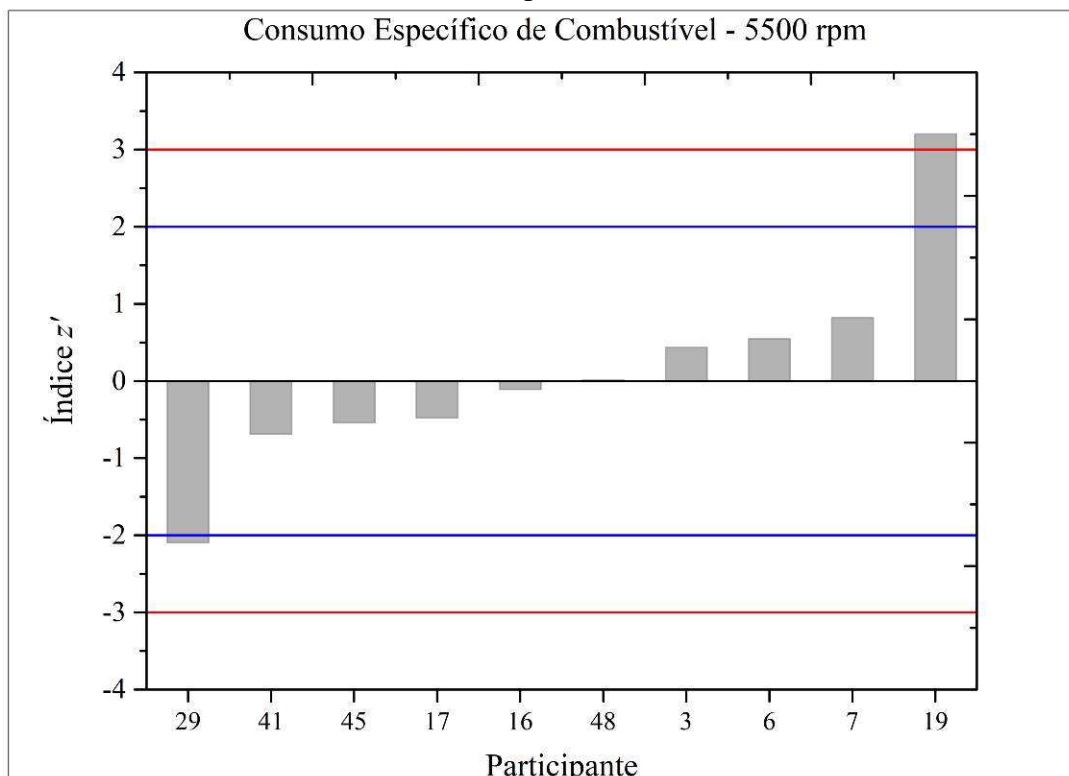
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 33 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 5000 rpm.



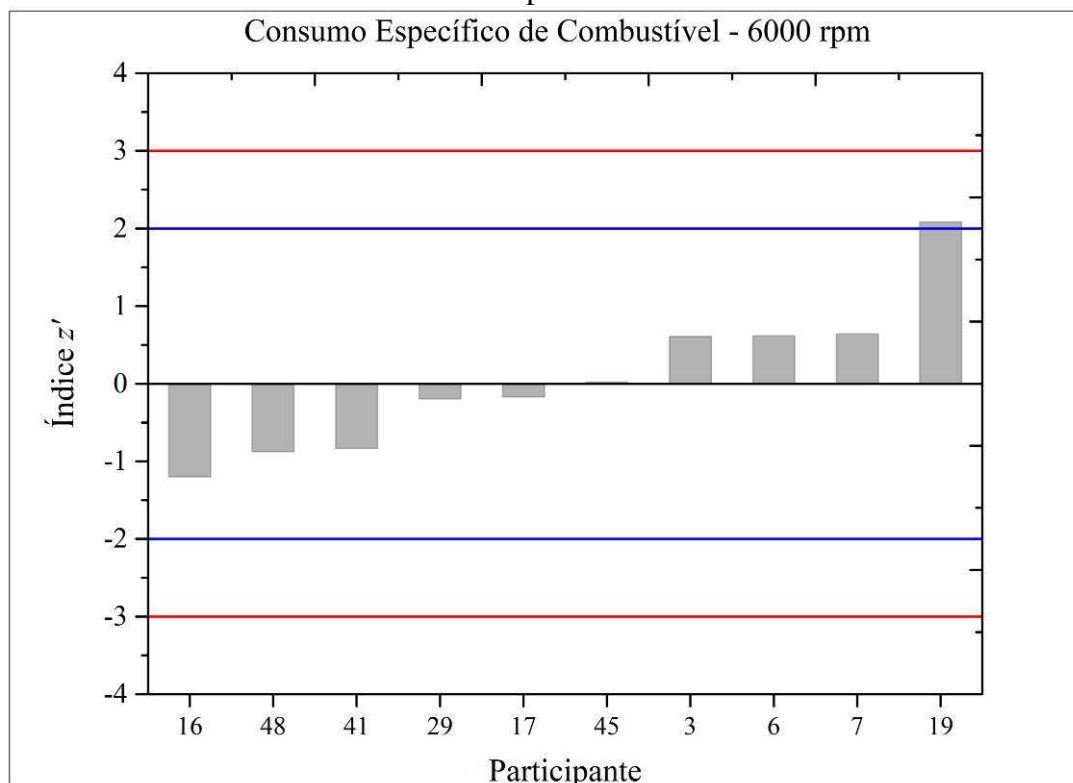
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 34 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 5500 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 35 - Gráfico do índice z' referente à medição de Consumo Específico de Combustível – 6000 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

5.1.2. Potência Corrigida

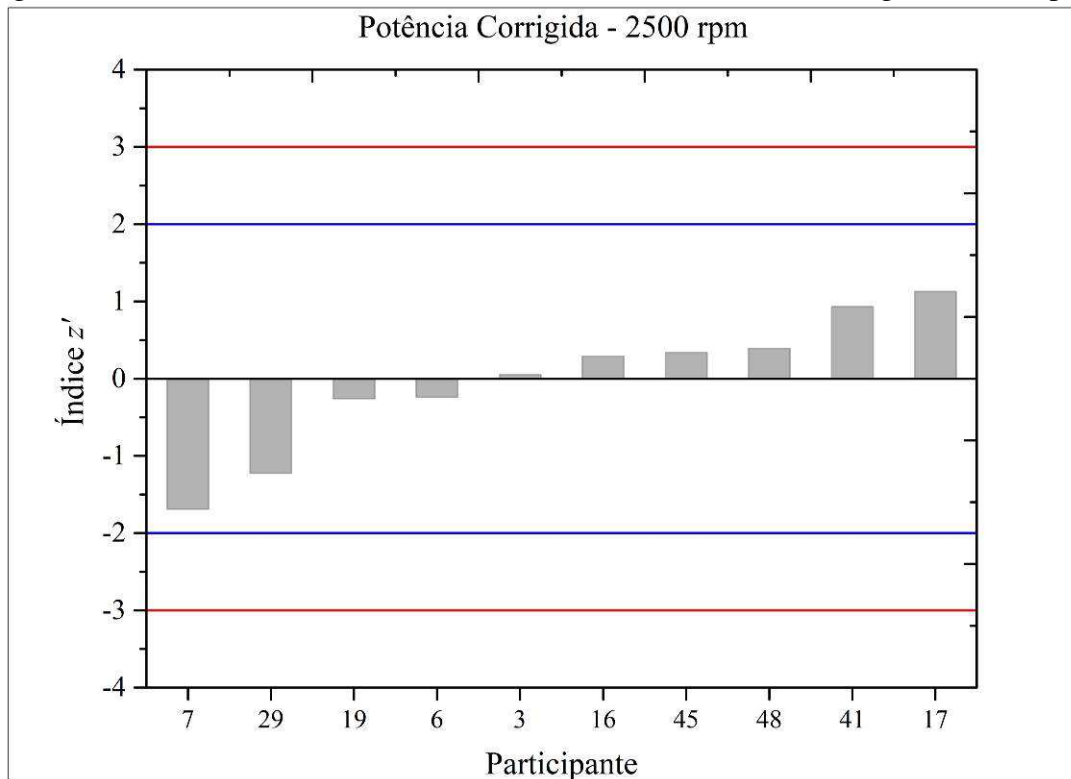
Na tabela 15 e nas figuras de 36 a 43 são apresentadas as avaliações de desempenho dos participantes, expressa por meio do índice z' para o parâmetro Potência Corrigida para cada rotação aplicada.

Tabela 15– Valores de índice z' para o parâmetro Potência Corrigida.

Participante	Rotação (rpm)							
	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'
3	0,05	0,10	0,14	0,07	-0,08	-0,11	0,13	-0,05
6	-0,24	-0,11	-0,29	-0,33	0,00	-0,22	-0,33	-0,18
7	-1,69	-1,66	-0,84	-0,49	-0,58	-0,52	-0,48	-0,50
16	0,29	0,10	-0,78	-0,25	0,25	0,23	0,14	0,79
17	1,13	1,00	0,89	0,73	0,84	0,74	0,58	0,45
19	-0,26	-0,60	-0,27	-0,26	-0,73	-1,00	-0,81	-0,88
29	-1,23	-1,11	-1,28	-0,91	-1,90	-1,51	-1,42	-1,17
41	0,93	0,95	0,52	1,66	-0,34	0,74	0,97	0,92
45	0,34	0,44	0,82	-1,04	1,43	1,25	1,33	1,25
48	0,39	0,62	1,09	1,09	0,64	0,28	-0,13	-0,63

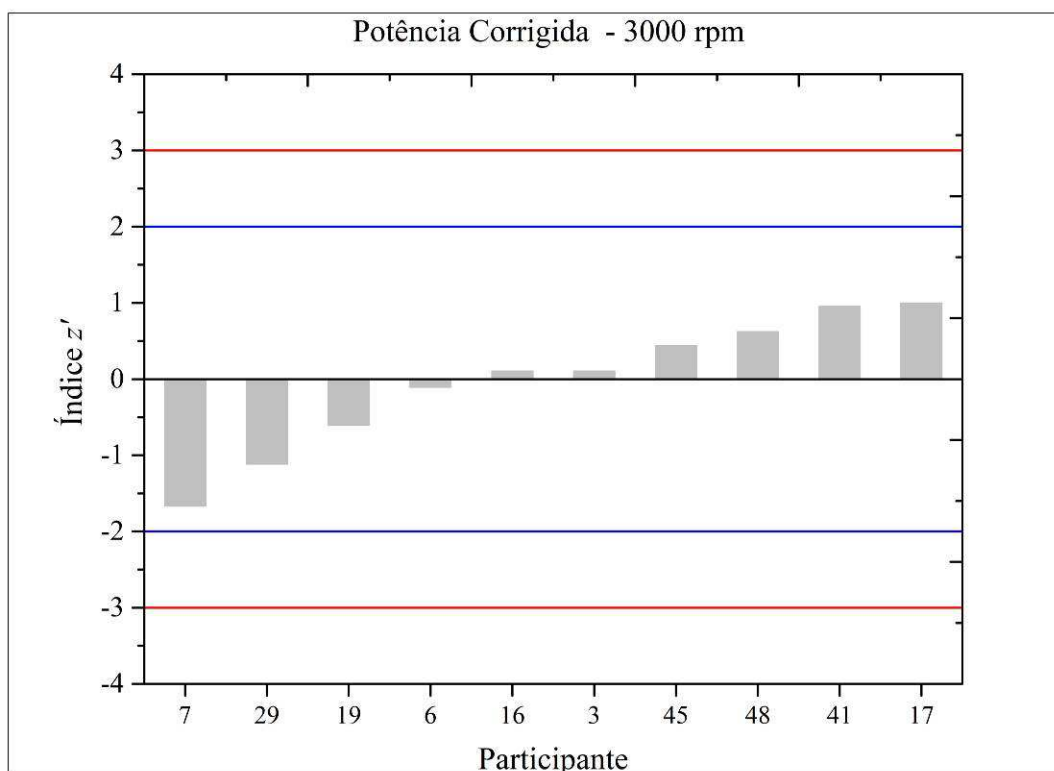
Fonte: Dimci/Lapep
* Resultado satisfatório
* Resultado questionável
* Resultado insatisfatório

Figura 36 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 2500 rpm.



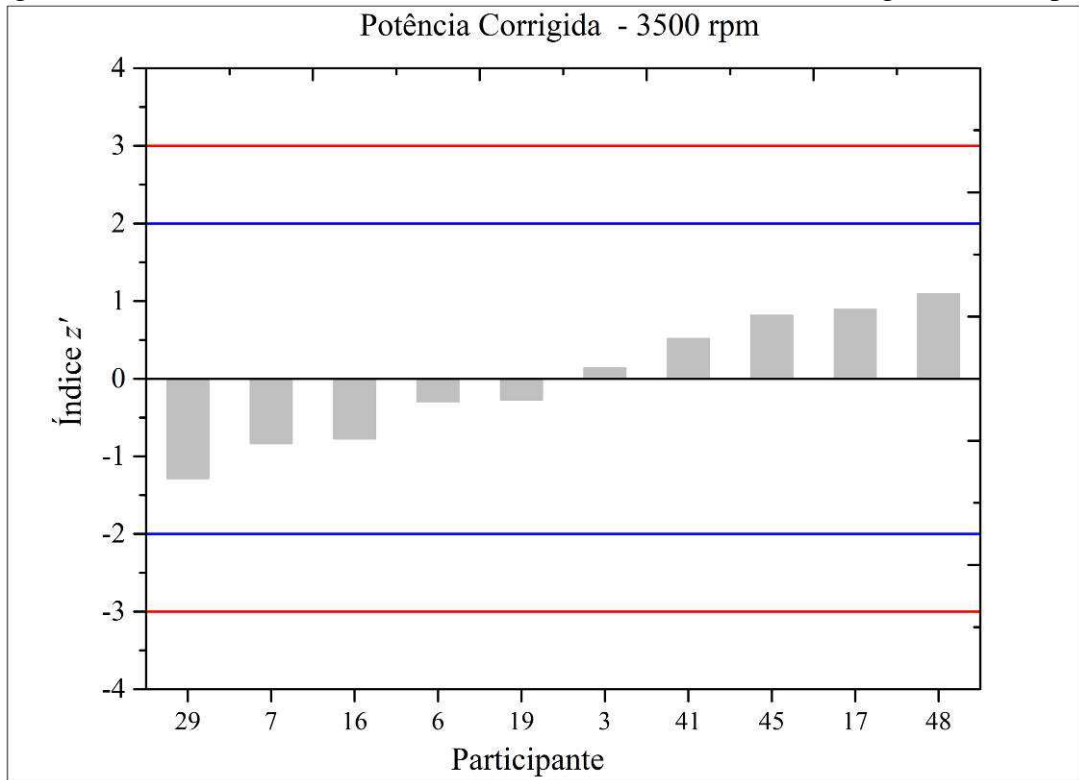
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 37 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 3000 rpm.



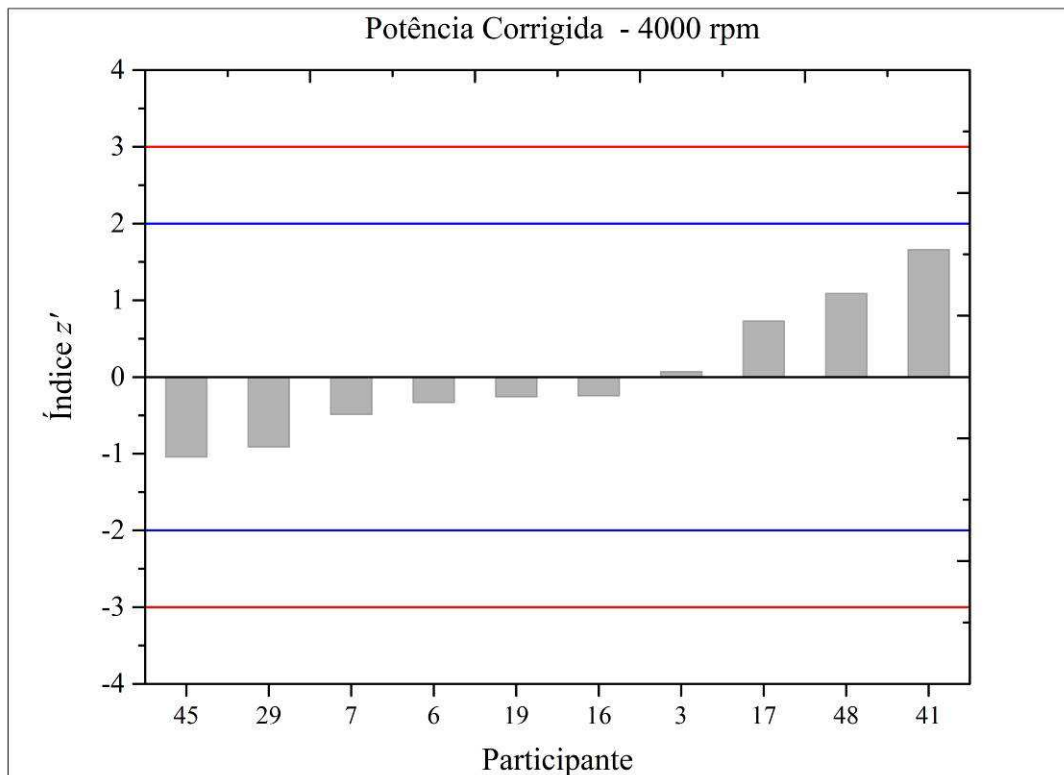
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 38 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 3500 rpm.



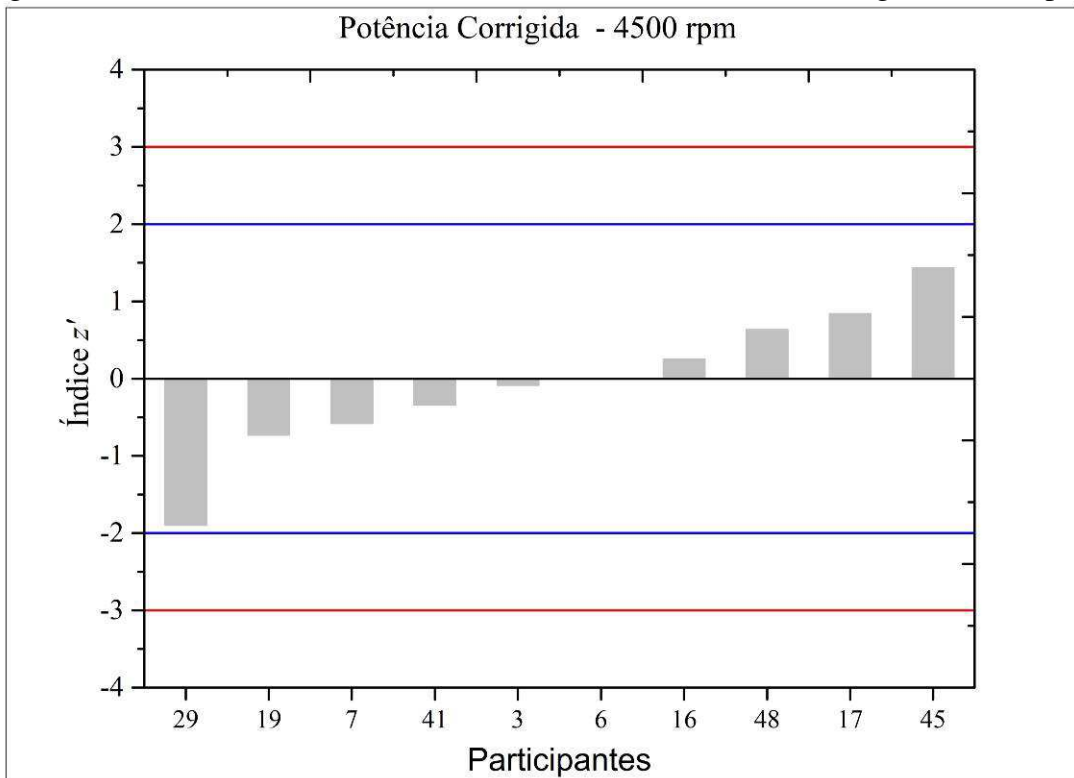
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 39 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 4000 rpm.



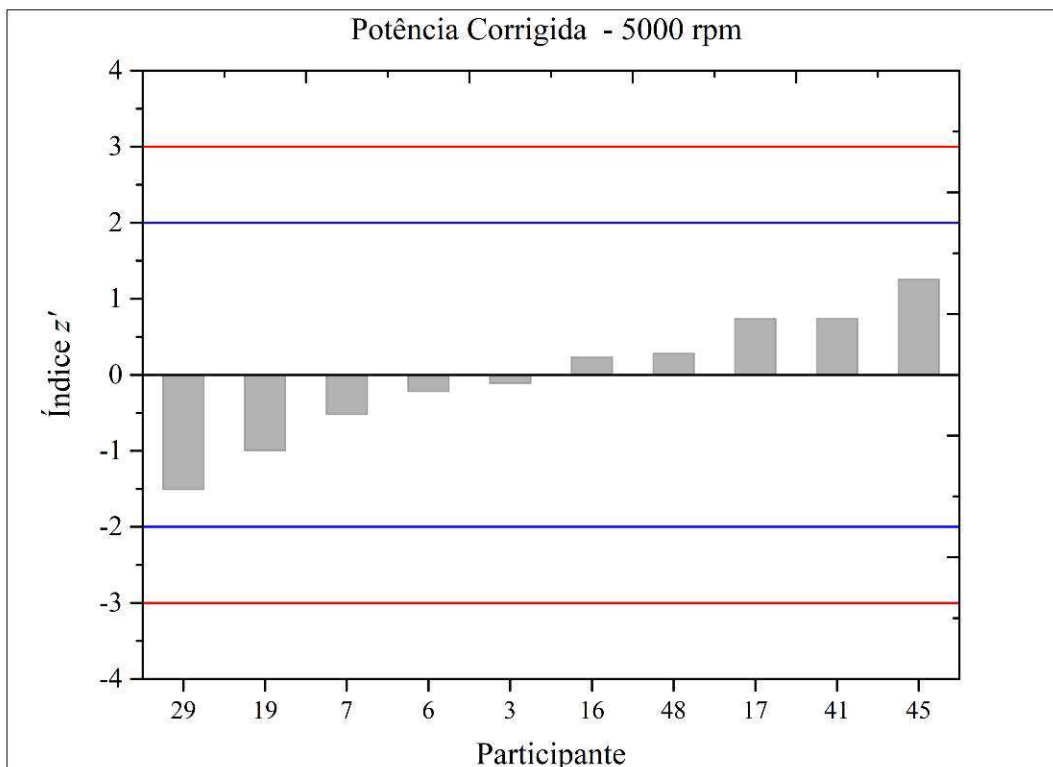
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 40 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 4500 rpm.



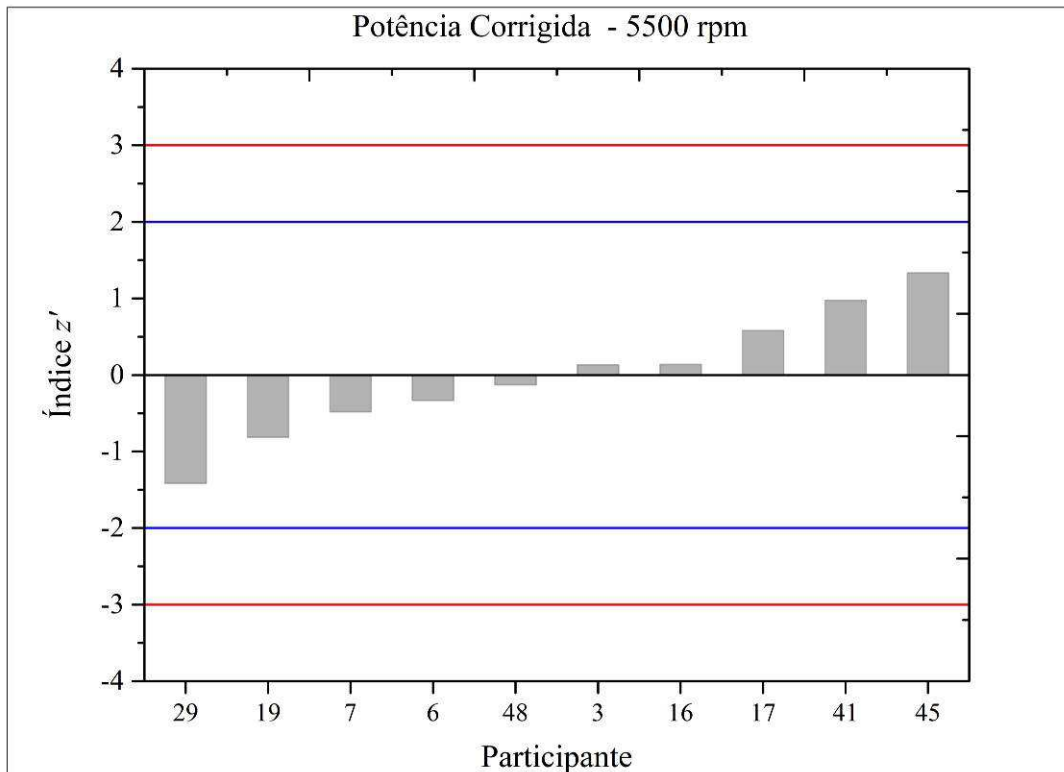
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 41 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 5000 rpm.



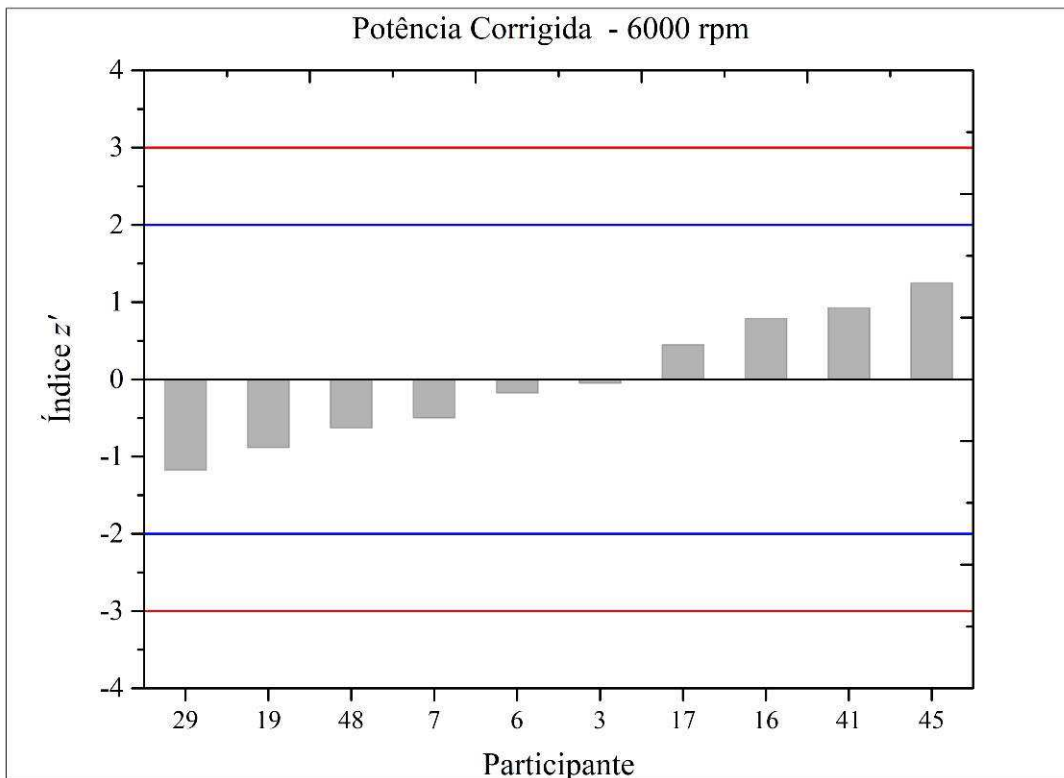
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 42 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 5500 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 43 - Gráfico do índice z' referente à medição de Potência Corrigida – 6000 rpm.



Fonte: Dimci/Lapep

5.1.3. Torque Corrigido

Na tabela 16 e nas figuras de 44 a 51 são apresentadas as avaliações de desempenho dos participantes, expressa por meio do índice z' para o parâmetro Torque Corrigido para cada rotação aplicada.

Tabela 16 – Valores de índice z' para o parâmetro Torque Corrigido.

Participante	Rotação (rpm)							
	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'	Índice z'
3	0,07	0,11	0,15	-0,01	-0,22	-0,12	0,13	-0,06
6	-0,22	-0,09	-0,29	-0,52	-0,12	-0,22	-0,35	-0,18
7	-1,59	-1,59	-0,78	-0,67	-0,68	-0,50	-0,45	-0,47
16	0,31	0,11	-0,79	-0,42	0,14	0,25	0,13	0,81
17	1,14	1,01	0,92	0,83	0,76	0,78	0,59	0,46
19	-0,24	-0,60	-0,27	-0,44	-0,89	-1,03	-0,86	-0,91
29	-1,22	-1,11	-1,32	-1,28	-2,11	-1,57	-1,48	-1,21
41	0,95	0,96	0,54	0,95	0,65	0,78	1,00	0,95
45	0,20	0,35	0,71	0,24	1,22	1,17	1,29	1,18
48	0,41	0,64	1,13	1,31	0,54	0,29	-0,09	-0,58

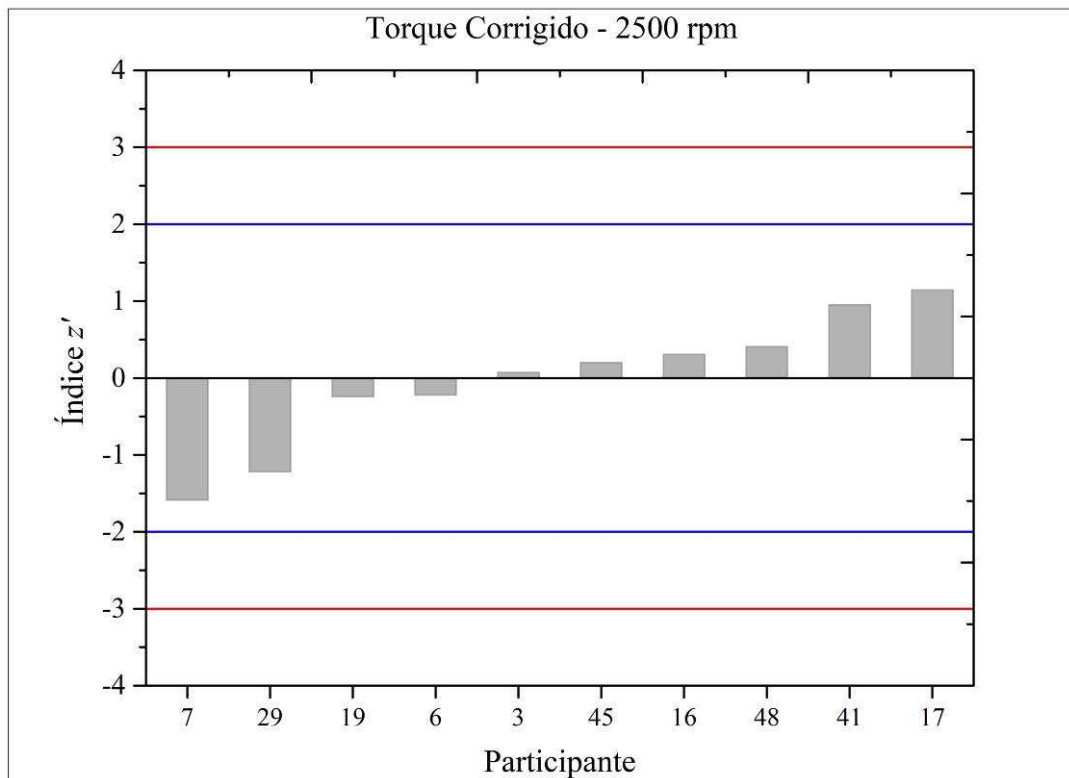
Fonte: Dimci/Lapep

* Resultado satisfatório

* Resultado questionável

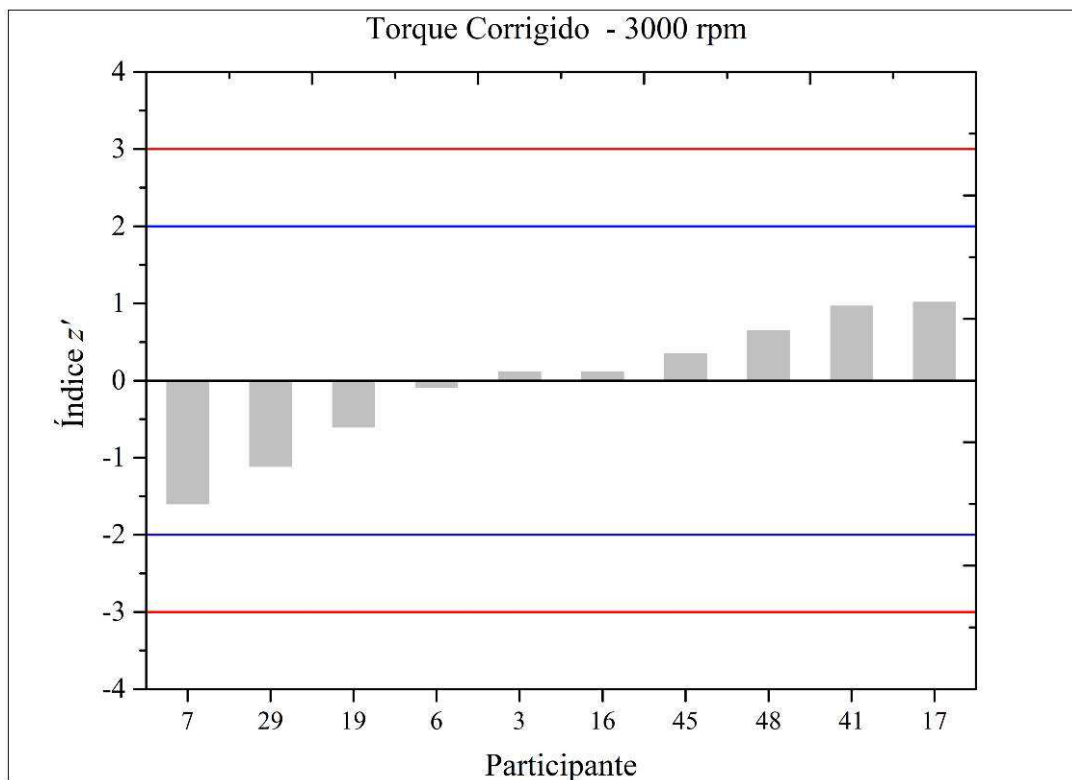
* Resultado insatisfatório

Figura 44 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 2500 rpm



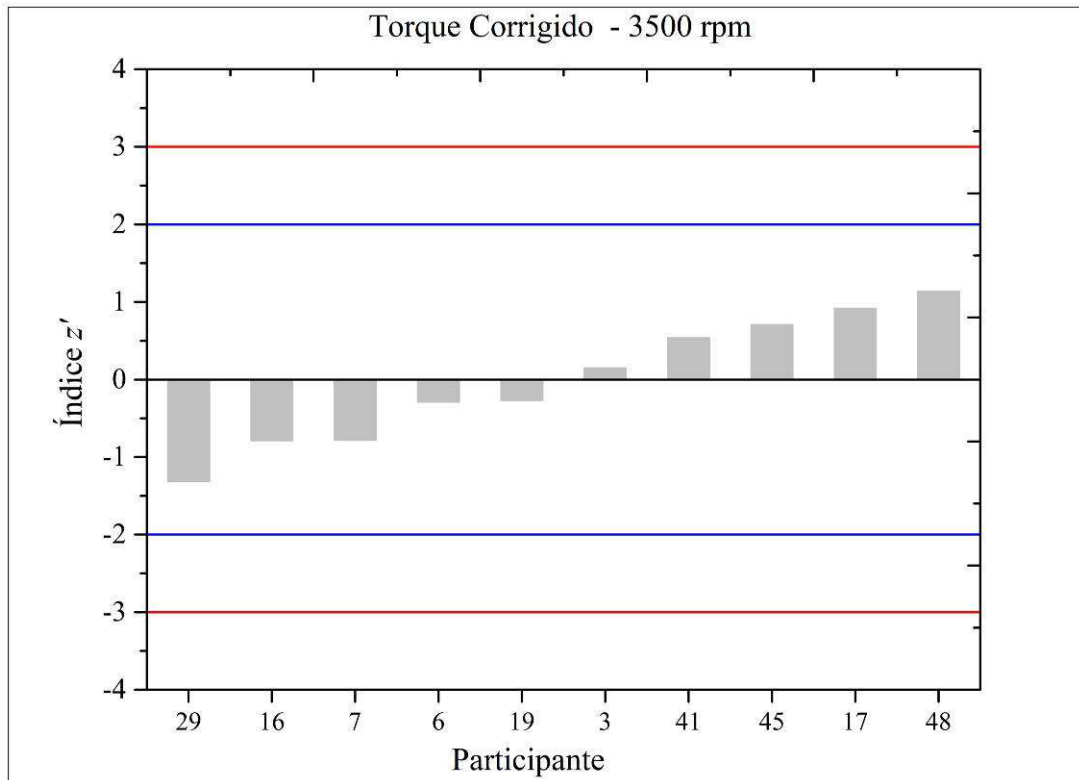
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 45 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 3000 rpm



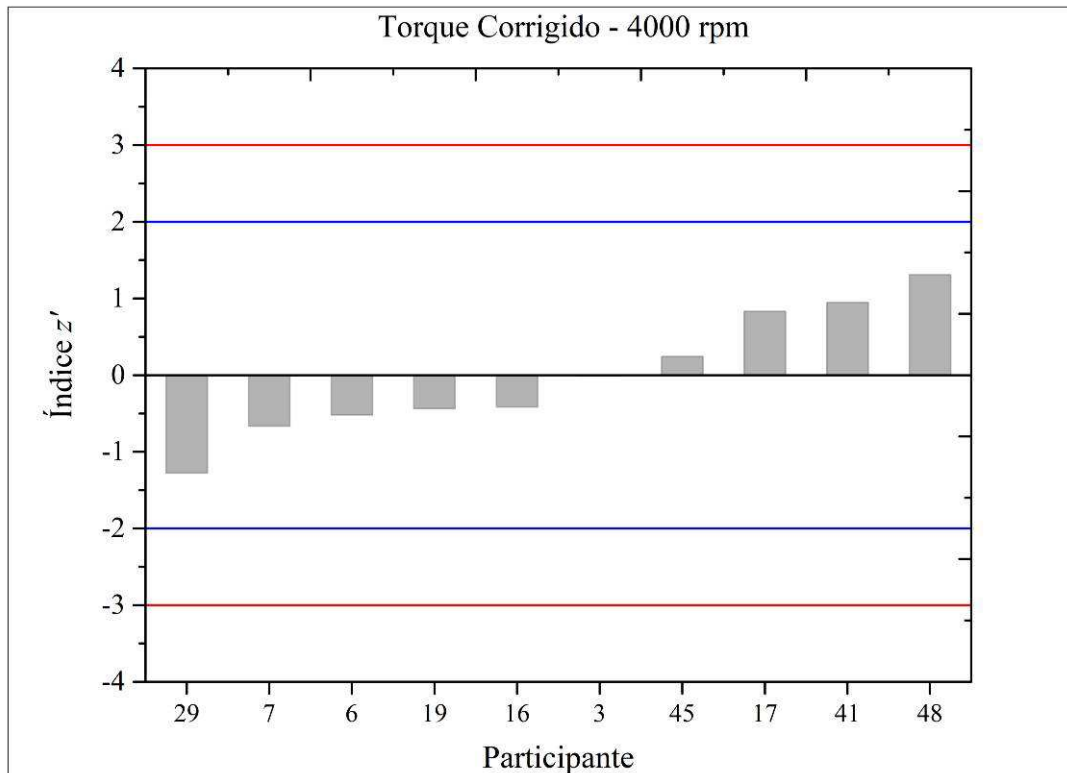
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 46 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 3500 rpm



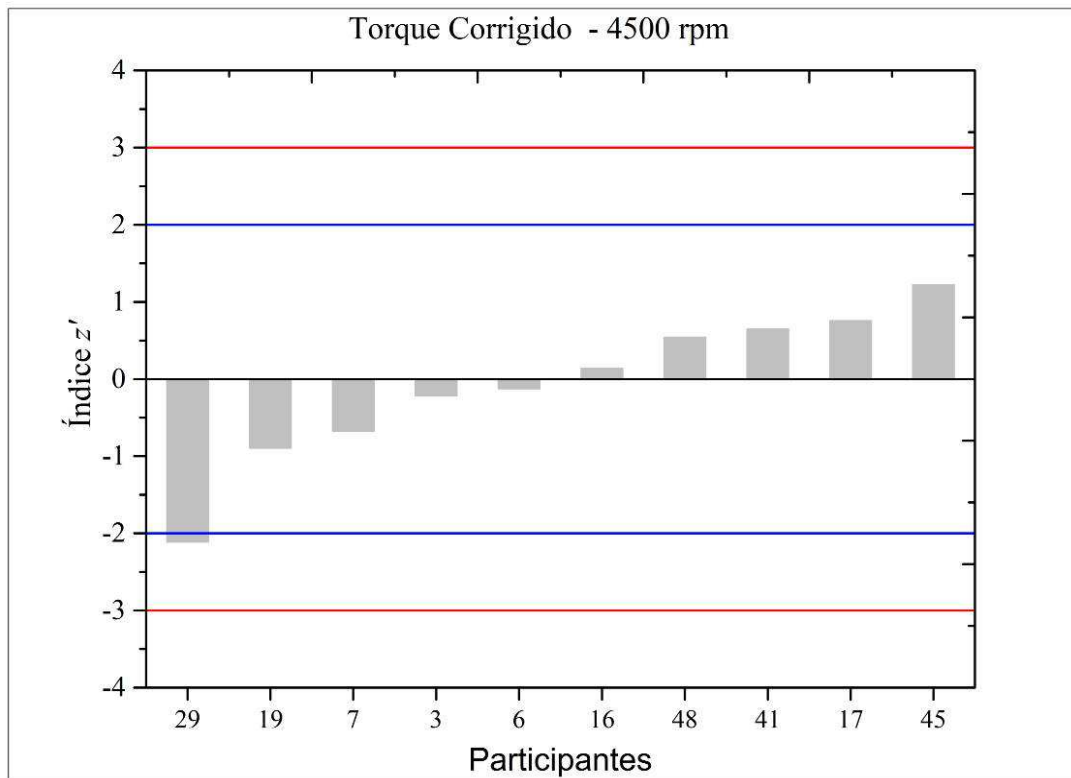
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 47 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 4000 rpm



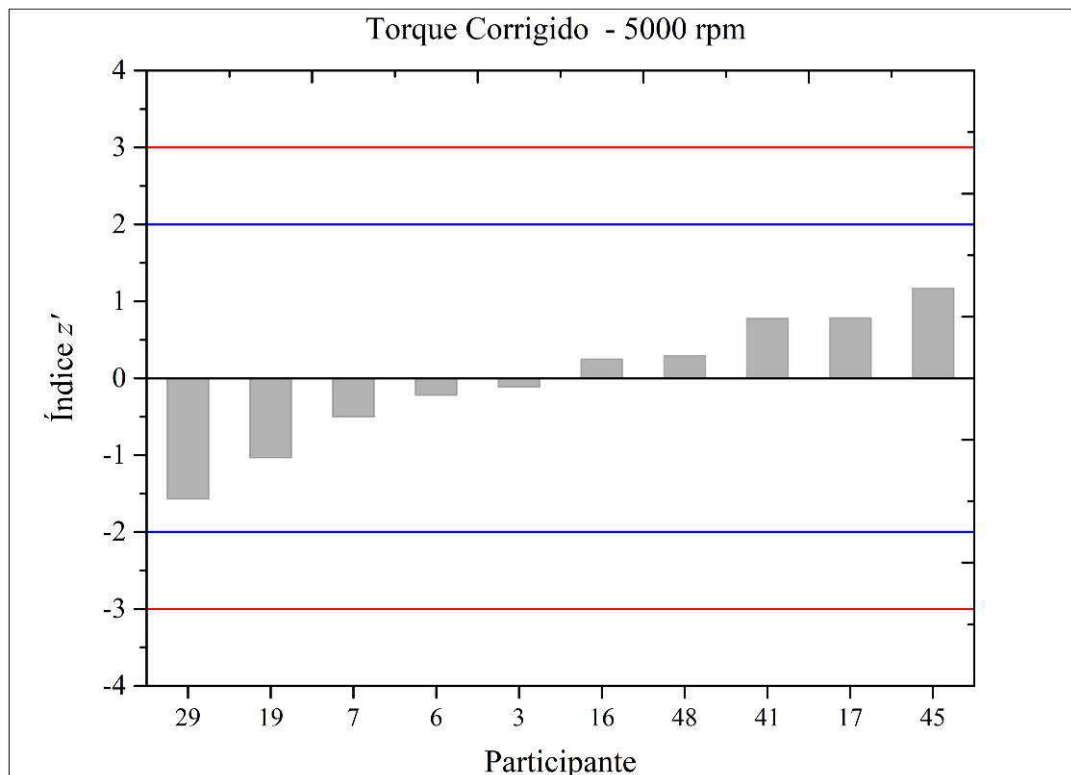
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 48 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 4500 rpm



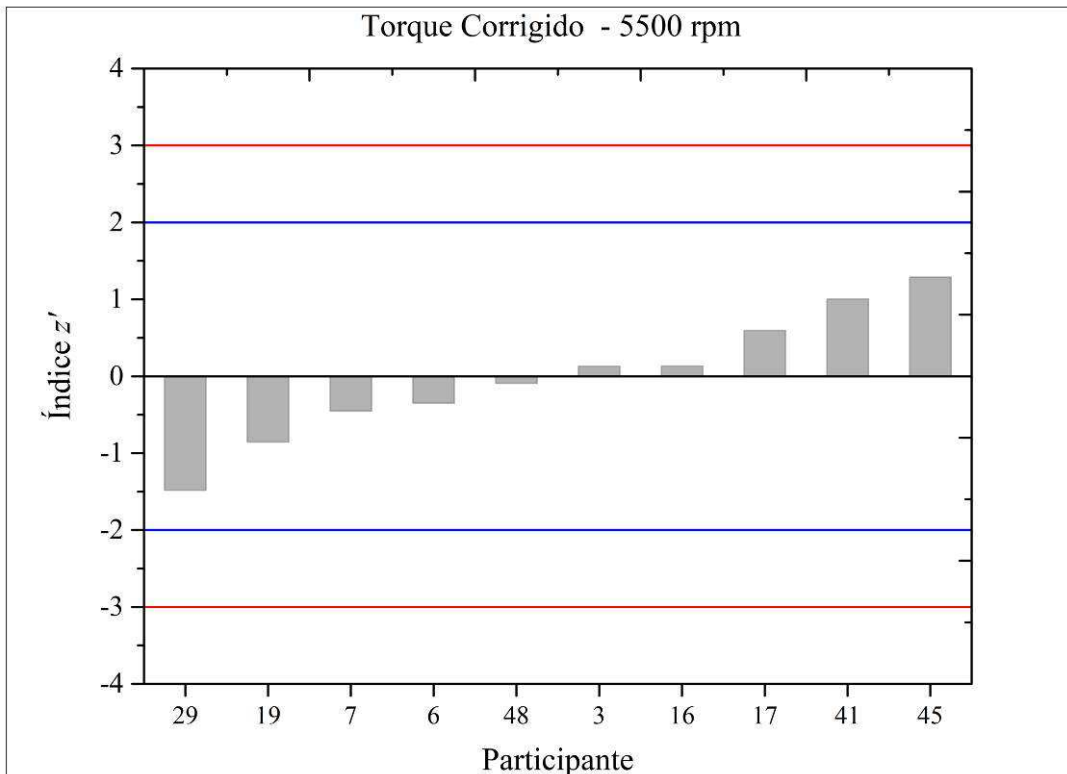
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 49 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 5000 rpm



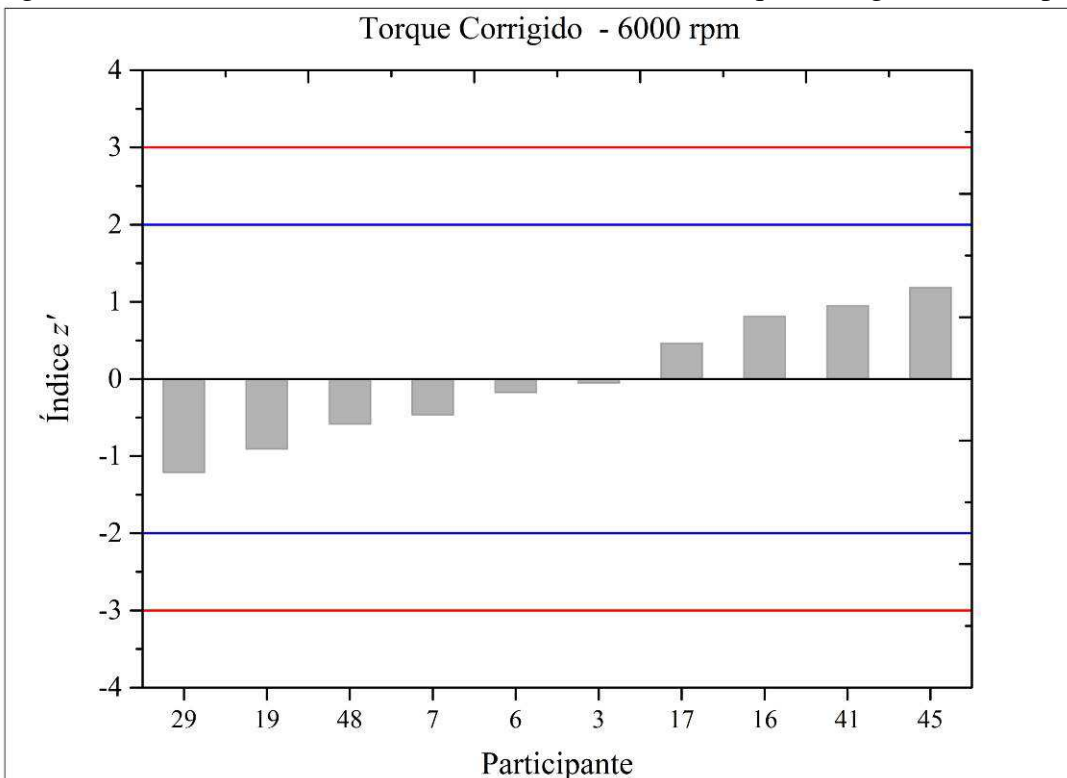
Fonte: Dimci/Lapep

Figura 50 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 5500 rpm



Fonte: Dimci/Lapep

Figura 51 - Gráfico do índice z' referente à medição de Torque Corrigido – 6000 rpm



Fonte: Dimci/Lapep

6. Comentários Gerais

6.1. Estabilidade do Item do EP

O uso de motores como item de ensaio neste EP é um desafio em termos de logística, custo e garantia da estabilidade do item. A integridade e repetibilidade do item de ensaio foram avaliadas antes do início do EP e a partir deste estudo foram definidas condições de referência (temperaturas, rotação, torque etc.). **A reprodução das condições iniciais definidas no protocolo é essencial para garantir a reprodutibilidade dos parâmetros do item de modo que a variação entre os resultados dos participantes tenha como componente principal a capacidade de execução das medições de cada participante.**

Na avaliação dos dados complementares não foram identificados desvios significativos nas informações reportadas pelos participantes, com exceção do parâmetro fator de correção. Para esta variável o participante 29 reportou o valor de 0,99, enquanto os demais reportaram valores que variaram de 1,08 a 1,12.

6.2. Dados das Medições

6.2.1 Consumo Específico de Combustível

Os resultados do participante 29 para consumo específico de combustível nas rotações de 2500 a 5500 rpm apresentaram um desvio negativo e sistemático em relação ao valor designado. Como exemplo, para a rotação de 3000 rpm, o consumo de combustível do participante 29 foi de 18,71 kg/h e a média do grupo de participantes foi de 18,62 kg/h. Em contrapartida, o consumo específico de combustível, na mesma rotação, para este participante foi de 369,87 g/kW.h e o valor designado foi de 400,71 g/kW.h. Essa tendência foi observada para as demais rotações e indica um possível erro sistemático na conversão entre os resultados e/ou desvio nas condições de referência para executar as medições.

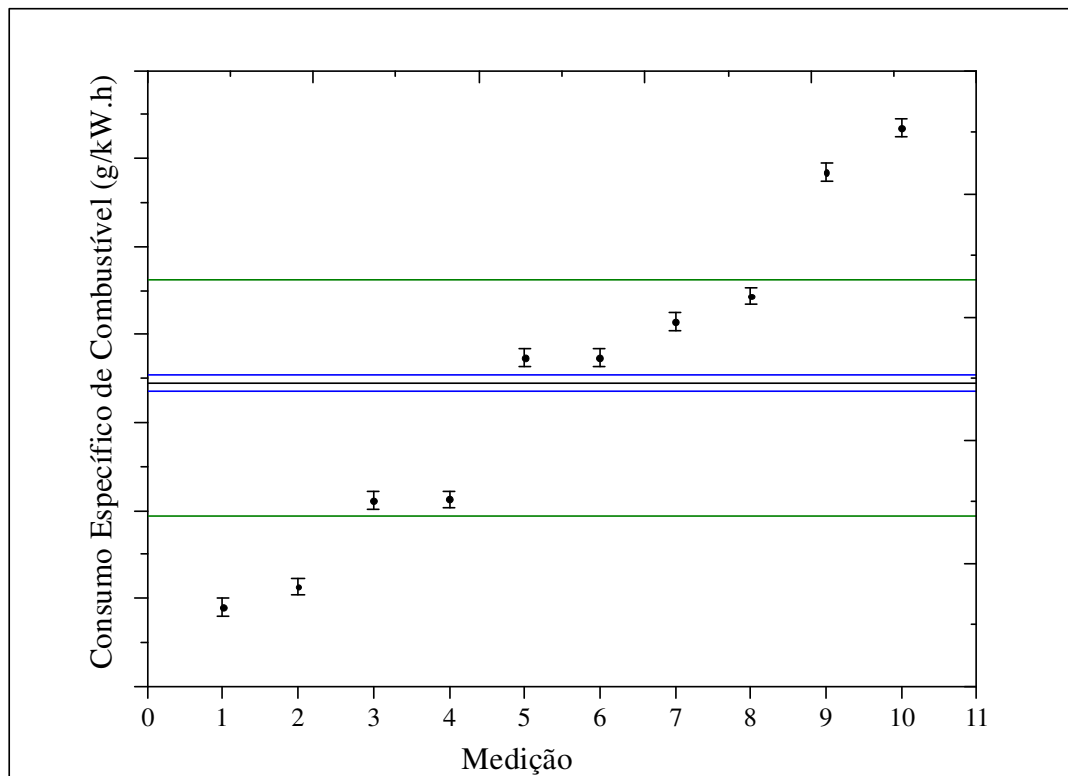
6.2.2 Incerteza de Medição

Todos os participantes reportaram a incerteza de medição para os parâmetros consumo específico de combustível e torque corrigido. A incerteza expandida para o consumo específico de combustível variou de 0,01% a 0,17%, enquanto a incerteza-padrão do valor designado para o consumo específico de combustível variou de 0,33% a 0,83%. Para o torque corrigido, a incerteza expandida variou de 0,064% a 0,78% e a incerteza-padrão do valor designado para o torque corrigido variou de 0,51% a 0,86%.

Em alguns casos, a incerteza expandida reportada pelos participantes parece subestimada. Como exemplo, na figura 52 são apresentadas as dez medições de consumo específico de combustível

reportados por um dos participantes. A linha preta representa o valor médio das medições, as linhas azul e verde representam os limites considerando as incertezas expandidas reportadas pelo participante e incerteza expandida do valor designado.

Figura 52 – Avaliação da consistência das replicatas de medições para consumo específico de combustível

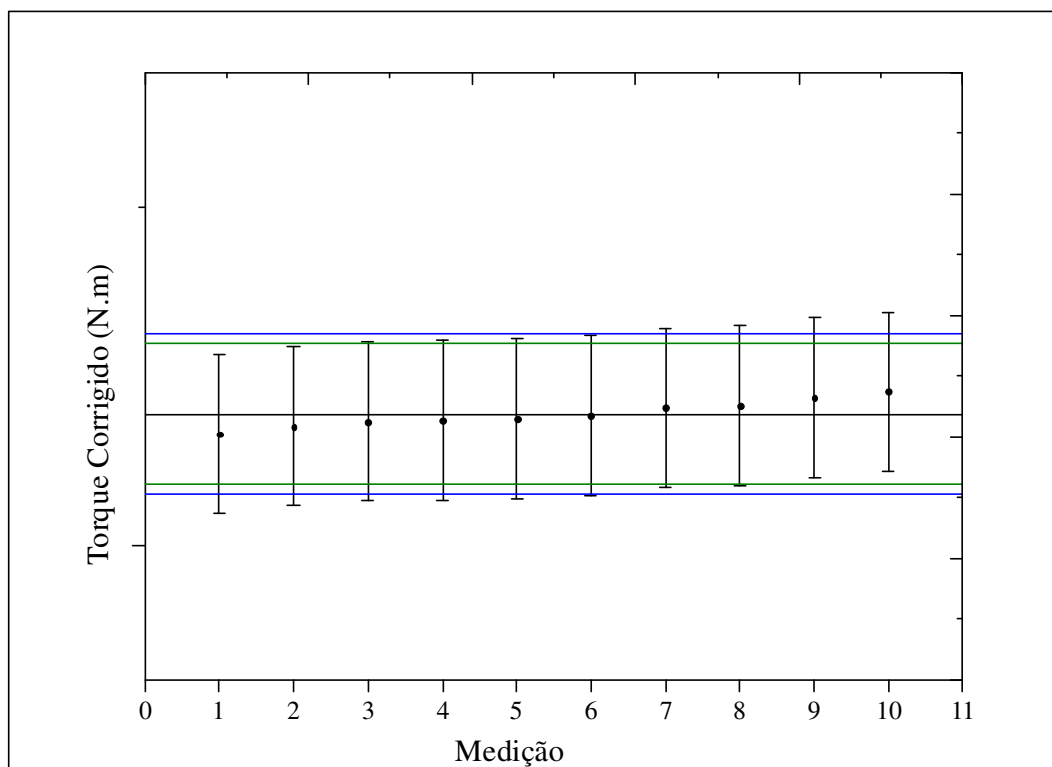


Fonte: Dimci/Lapep

Os resultados apresentados na figura 52 indicam uma falta de consistência entre os resultados, dentro dos limites das incertezas reportadas pelo participante. O mesmo comportamento é observado quando é considerada a incerteza do valor designado, que dentre as fontes de incerteza contempla a reprodutibilidade e a instabilidade do item do EP.

Para efeito de comparação, na figura 53 são apresentadas as dez medições de torque corrigido reportados por um dos participantes. A linha preta representa o valor médio das medições, as linhas azul e verde representam os limites considerando as incertezas expandidas reportada pelo participante e incerteza expandida do valor designado.

Figura 53 – Avaliação da consistência das replicatas de medições para torque corrigido



Fonte: Dimci/Lapep

Neste caso nota-se a consistência dos resultados quando comparados dentro dos limites das incertezas reportadas.

O Comitê de Organização recomenda que os participantes com inconsistências no relato das incertezas de medição revejam seus procedimentos para estimativa de incerteza. Reforçamos também a importância do relato das incertezas de medição como forma de reduzir os riscos na avaliação da conformidade e ao consumidor. Além disso, a incerteza de medição pode ser utilizada de forma auxiliar para demonstrar a consistência entre os resultados dos participantes que são utilizados para calcular o valor de consenso.

7. Confidencialidade

Cada participante foi identificado por código individual que é conhecido somente pelo próprio participante e pela coordenação do EP. Conforme estabelecido na ficha de inscrição, a identificação dos laboratórios acreditados e em fase de acreditação será enviada para conhecimento da Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre). O participante recebeu, via e-mail, o seu código de identificação correspondente à sua participação no EP. Este código foi utilizado como identificação do participante

no preenchimento do formulário de registro de resultados. Os resultados poderão ser utilizados em trabalhos e publicações pelo Inmetro respeitando-se a confidencialidade de cada participante.

Conforme estabelecido no item 4.10.4 da ABNT ISO/IEC 17043:2011, em circunstâncias excepcionais, uma autoridade reguladora pode requerer os resultados e a identificação dos participantes do EP ao provedor. Se isto ocorrer, o provedor do EP notificará esta ação aos participantes.

8. Conclusões

Este foi o primeiro EP em medição de Torque, Potência e Consumo Específico em Motores Ciclo Otto realizado por meio da parceria Inmetro-AEA.

A incerteza-padrão estimada do valor designado foi considerada significativa em relação ao valor do desvio-padrão do valor designado e por conta disso, foi utilizado o índice z' , que incorpora na avaliação de desempenho o efeito da instabilidade do item do EP.

Os critérios definidos no plano de trabalho do EP para avaliar a estabilidade do item do EP não permitiram avaliar de forma adequada o efeito desta fonte na avaliação de desempenho dos participantes. Como forma de melhoria, para a próxima rodada de EP de motores de ciclo Otto, o Comitê de Organização avaliará o uso dos desvios-padrão desta rodada nos estudos de repetibilidade, aprovação e a estabilidade do item de EP.

Todos os participantes inscritos enviaram seus resultados para a avaliação de desempenho que foi realizada por meio do índice z' para as medições de consumo específico de combustível, potência corrigida e torque corrigido nas rotações de 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500 e 6000 rpm. Cada participante reportou 10 resultados por rotação/parâmetro.

- Consumo específico de combustível: 80% dos participantes tiveram 100% de resultados considerados satisfatórios para a faixa de 2500 a 6000 rpm. O participante 19 teve 63% de resultados satisfatórios, 25% questionáveis e 13% insatisfatórios. O participante 29 foi o que apresentou o maior percentual de resultado insatisfatório (63%) e para a faixa de rotação de 2500 a 5500 rpm foi identificado uma tendência negativa do desempenho.
- Potência corrigida: 100% dos participantes tiveram 100% dos resultados considerados satisfatórios para a faixa de 2500 a 6000 rpm.

- Torque corrigido: 90% dos participantes tiveram 100% dos resultados considerados satisfatórios para a faixa de 2500 a 6000 rpm. Apenas o participante 29 teve 88% dos resultados considerados satisfatório (apenas um resultado questionável).

Cabe ao participante deste ensaio de proficiência realizar uma análise crítica dos resultados, sendo que todo o processo e experiência laboratorial devem ser considerados. Portanto, a participação em ensaios de proficiência de forma contínua pode garantir ao participante informações sobre sua capacidade de medição e é de grande importância para o monitoramento da validade de seus resultados.

9. Participantes

Dez participantes se inscreveram no EP de Medição de Torque, Potência e Consumo Específico em Motores Ciclo Otto e todos enviaram seus resultados.

A lista dos participantes que enviaram os resultados à coordenação deste EP é apresentada na tabela 16. É importante ressaltar que a numeração da tabela é apenas indicativa do número de participantes no EP, não estando, em hipótese alguma, associada à identificação dos participantes na apresentação dos resultados.

Tabela 16 – Participantes

Instituição	
1.	AVL South America Ltda. AVL
2.	CAOA Montadora de Veículos Ltda. Centro de Pesquisa e Eficiência Energética "CPEE"
3.	FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda. STELLANTIS / SPM – SALA PROVA MOTOR / PROPULSION SYSTEMS
4.	FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA Dinamômetro de Motores
5.	Instituto Mauá de Tecnologia Divisão de Motores e Veículos - DMV
6.	Magneti Marelli Sistemas Automotivos Industria e Com. Ltda. Magneti Marelli
7.	MAHLE Metal Leve S.A. Laboratório de Motores MAHLE Jundiaí
8.	Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS Laboratório de Ensaios em Motores do CENPES
9.	Robert Bosch Ltda.
10.	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI Laboratório de Ensaios de Motores

Total de participantes: 10 participantes.

10. Referências Bibliográficas

- [1] ABNT ISO/IEC 17043:2011: Avaliação da conformidade. Requisitos gerais para ensaios de proficiência.
 - [2] ISO 13528:2022. *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.*
 - [3] ABNT NBR ISO 1585:1996 – Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva.
 - [4] ABNT NBR ISO/IEC 17025, “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”, 2017.
-



Programa de Ensaio da Proficiência do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – PEP-Inmetro
Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém – Duque de Caxias – RJ – Brasil – CEP: 25250-020
Tel.: +55 21 2679-9745 – www.inmetro.gov.br – E-mail: pep-inmetro@inmetro.gov.br