

Comparação entre os processos de *Cold Test* e *Hot Test* em uma empresa fabricante de motores diesel

Comparison between Cold and Hot Test procedures in a company manufacturer of diesel engines

Pablo Fogaça¹
Davenilcio Luiz de Souza¹
Felipe Manéa¹

Resumo: O teste a frio (*Cold Test*) é um processo inovador no Brasil com relação aos testes em motores diesel. Esse processo foi implementado em uma empresa fabricante de motores diesel, com o intuito de ser o principal teste de validação antes de os motores serem enviados ao cliente. Partindo-se dessa hipótese, surgiu o principal motivo desta investigação: é possível a substituição plena do teste a quente (*Hot Test*) pelo teste a frio (*Cold Test*)? Essa foi uma pergunta impactante, visto que o *Hot Test* é um processo confiável e consagrado há mais de 18 anos. O método utilizado nesta pesquisa foi o estudo de caso. A investigação detalhada identificou vários critérios de comparação dos dois processos, tais como: fluxogramas, eficácia, eficiência, complexidade, níveis de aprovação, planilhas de bordo e documentos FMEA da empresa. Os resultados mostraram que o processo *Cold Test* é mais vantajoso e sustentável, entretanto os dois processos são complementares. O estudo comprovou que não foi possível a plena substituição do *Hot Test* pelo *Cold Test*, principalmente pelo fato da não detecção de vazamentos no processo *Cold Test*.

Palavras-chave: *Cold Test*; *Hot Test*; Motores diesel; Processos; PDCA.

Abstract: *The Cold Test is an innovative process in Brazil regarding the tests in diesel engines. This process was implemented in a diesel engine company with the intention of becoming the main validation test before engines are sent to customers. Based on this hypothesis, the main reason of this investigation is to test whether it is possible to replace the Hot Test with the Cold Test. This was a shocking question, since the Hot Test is a reliable and established process for over 18 years. This research used a case study method. The detailed research has identified several criteria for comparing the two processes, such as: flowcharts, effectiveness, efficiency, complexity, approval levels, on-board worksheets and company FMEA documents. The results showed that the Cold Test process is more advantageous and sustainable, however the two processes are complementary. The study proved that the fully replacement of the Hot Test by the Cold Test is not possible, mainly the Cold Test process fails in detecting leaks.*

Keywords: *Cold Test*; *Hot Test*; Diesel engines; Processes; PDCA.

1 Introdução

Este estudo foi realizado em ambiente fabril, especificamente no final de uma linha de montagem de motores diesel. A maioria dos fabricantes testam seus motores depois de totalmente preparados em salas ou Bancos de Testes. Esse processo de teste é chamado *Hot Test*, nele, os motores são testados nas condições do veículo (Atkins, 2009; Ferguson & Kirkpatrick, 2015; Martyr & Plint, 2011). Entretanto, vem ganhando espaço nas avaliações de qualidade dos motores outro método, chamado *Cold Test*, que não necessita de combustão no motor (Delvecchio, 2012; Delvecchio et al., 2007; Gagneur, 1999).

Os dois processos executam atividades diferentes, porém com a mesma finalidade: atestar que os motores estejam 100% confiáveis para serem enviados à montadora. A principal diferença entre esses dois métodos, é que no *Hot Test* o motor realiza a combustão, enquanto no *Cold Test* não existe a necessidade da combustão. Para isto o *Cold Test* vale-se da emissão de diferentes formas de ondas, a fim de representar as pressões e vibrações do motor e, assim, realizar as avaliações necessárias (Gagneur, 1999; Martyr & Plint, 2011, 2012).

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Av. Unisinos, 950, CEP 93022-750, São Leopoldo, RS, Brasil, e-mail: pablo.fogaca@gmail.com; davenilcio@gmail.com; felipe_manéa@yahoo.com.br

Recebido em Abr. 18, 2016 - Aceito em Dez. 6, 2016

Suporte financeiro: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROSUP).

A evolução do uso do *Cold Test* se dá em motores a gasolina e nos motores a diesel, seja por exigências do mercado ou por redução do tempo do teste e, ainda, por redução do impacto ambiental, o que indica uma tendência para o seu uso (Delvecchio, 2012; Delvecchio et al., 2007). Assim, esta pesquisa encontra sua motivação a partir da seguinte questão: Tratando-se de motores a diesel, é possível a substituição plena do *Hot Test* pelo *Cold Test*?

Visando responder à questão levantada, este artigo buscou mapear, analisar e comparar os processos *Cold Test* e *Hot Test*, com o objetivo principal de avaliar se um processo pode substituir o outro ou se eles são complementares. Já que esses dois testes têm a mesma finalidade, verificar a qualidade final dos motores antes de validá-los e os enviar aos clientes, esta experiência científica busca servir como um documento de lições aprendidas dos dois equipamentos para futuras consultas e identificar diferenças técnicas dos processos *Cold Test* e *Hot Test*.

Esta exploração também pretende identificar os benefícios da implantação do *Cold Test*, bem como os requisitos de aprovação do *Hot Test* e *Cold Test* e seus limitantes. Anseia também verificar qual processo pode ser considerado mais sustentável, no sentido de mínimo impacto ambiental e utilização dos recursos naturais.

No campo acadêmico, pretende-se contribuir para os estudos sobre o processo *Cold Test*, já que no Brasil, conforme pesquisa, é resumida a literatura sobre esse assunto. O presente trabalho também espera cooperar para os estudos da Engenharia de Produção Mecânica, com os assuntos relacionados ao *Hot Test*, *Cold Test* e a comparação dos dois processos.

Por fim, o trabalho apresenta os resultados mais relevantes comparados e responde a principal questão: se é ou não possível a substituição plena de um teste de qualidade consagrado por mais de 18 anos de uso pela nova tecnologia chamada *Cold Test*. Esse teste de qualidade é um processo final de garantia em 100% dos motores. É importante ressaltar também que o trabalho demonstra a preocupação da empresa com o meio ambiente, visto que, ao implementar a tecnologia *Cold Test*, a empresa busca a sustentabilidade.

2 Referencial teórico

A revisão da literatura foi realizada em bases de dados nacionais (Capes, Tede) e internacionais (Ebsco Host, Scielo, Dart Europa e Google Acadêmico). As palavras-chave consultadas nas bases nacionais tiveram os seguintes títulos: teste em motores diesel, motores diesel, teste a frio, *Cold Test*, *Cold Test X Hot Test* nas indústrias automotivas e *Cold Test* nas indústrias automotivas. Os índices definidos foram nas áreas exatas e engenharias. Com relação à amplitude temporal, não foi limitado o tempo. Na pesquisa de âmbito internacional, além dos títulos em português

descritos, foram utilizados os seguintes títulos em inglês: *Cold Test engine*, *Engine testing*, *Cold Test X Hot Test in the automotive*, *Cold Testing*, *Cold Test in the automotive*.

As buscas em cada uma das bases de dados com seus devidos filtros resultaram em 1.977 entradas. A análise dessas informações consistiu na leitura do título de cada entrada. Após a leitura dos títulos, foram lidos 127 resumos (*abstrats*) que poderiam ter relevância para essa pesquisa, de acordo com o objetivo proposto. Em função da leitura dos resumos foram separados 17 trabalhos relevantes ou que contribuíram de certa forma para esta pesquisa. Ao final da análise das informações coletadas não se evidenciaram publicações brasileiras a respeito do processo *Cold Test*.

O referencial teórico deste trabalho aborda alguns dos métodos de elaboração e de controle empregados nos processos para garantia da qualidade na fabricação dos motores diesel. Explica, em linhas gerais, o que são os processos *Hot Test* e *Cold Test*. Apresenta suas estruturas, seu funcionamento e faz uma breve comparação entre os dois processos. Mostra também que a substituição plena ou parcial do *Hot Test* pelo *Cold Test* pode ser considerada um aperfeiçoamento tecnológico para melhoria do processo de fabricação, redução de emissões e de perdas. Todos itens importantes para o setor automotivo.

2.1 O processo *Hot Test*

No processo *Hot Test*, também chamado de Bancos de Testes, os motores são ligados e testados como se estivessem no veículo. O funcionamento desse processo consiste basicamente num freio dinamômetro que absorve a energia produzida no motor, em um regime de funcionamento controlado por um sistema automatizado, com parâmetros de controle de velocidade e rotação (Ferguson & Kirkpatrick 2015; Martins, 2013; Pereira, 2009; Serrano, 2012).

Alguns projetos típicos de salas de *Hot Test* são realizados sob carga, com bancas de revisão, com objetivo de reconstrução e testes de engenharia de motores. Essas cabines necessitam de uma área adequada com os seguintes fornecimentos: (a) abastecimento de água e esgoto; (b) sistema de abastecimento de combustível; (c) sistema de ventilação adequada; (d) sistema de escape do motor para o exterior; (e) isolamento acústico; (f) sistema de segurança e precauções contra incêndio (Atkins, 2009; Martyr & Plint 2011; Serrano, 2012).

Segundo Atkins (2009), existem muitos tipos de testes de motores na indústria, os principais são: (1) Teste de durabilidade; (2) Teste de desempenho; (3) Teste de combustível e lubrificante; (4) Investigações especiais; (5) Teste do sistema de exaustão; (6) Teste do agente catalisador. No presente trabalho, trata-se

somente o teste de desempenho, desenvolvido pelo fabricante do motor. Conforme Pereira (2009), geralmente existe um modelo de relatório para registro dos valores medidos durante os testes de produção no final da linha de montagem.

De acordo com Pereira (2009), o teste de desempenho é muito utilizado em motores automotivos a diesel, sendo realizado a plena carga. Nesse teste, o acelerador fica na posição de máxima rotação, com aplicações de cargas de 25%, 50% e 75%. Isso determinará a potência máxima do motor em cada rotação de seu funcionamento, conforme pré-requisitos de qualidade.

Martyr & Plint (2012) descrevem o procedimento necessário para o processo de *Hot Test* como sendo as atividades de manuseio do motor, ajustes, fixação, enchimento, partida do motor, drenagem e a sequência de teste real; tudo isso altamente automatizado. As eventuais intervenções e identificações de falhas são realizadas por um testador experiente. A detecção de vazamento pode ser difícil em um *Hot Test*, por isso, muitas vezes é realizado em uma estação especial (*Black-light*).

2.2 O processo *Cold Test*

O *Cold Test*, por sua vez, consiste em análises de formas de ondas do motor em teste, comparadas com padrões de um motor perfeito, sem a combustão. O elemento chave do *Cold Test* é o desenvolvimento e a manutenção de grandes quantidades de dados que formam um sistema informatizado de análises e comparações (Fogaça et al., 2014; Mudge & Rice, 1984; Scourtes et al., 1994).

A grande vantagem nos testes a frio é a eliminação da ignição e, conseqüentemente, combustão do motor na hora do teste, pois o motor é girado através de um motor elétrico acoplado ao seu eixo. A velocidade de rotação do motor em que os testes são realizados é baixa e o fornecimento de sinais tem extrema precisão. Sendo assim, a redução das velocidades e cargas do teste minimizam os danos de um motor defeituoso (Gagneur, 1999; Martyr & Plint, 2012; Thyssen Krupp, 2011).

Uma estação de *Cold Test* não exige muita infraestrutura de laboratório de ensaio como um *Hot Test Standart*. Não são necessários sistemas de exaustão e ventilação dedicados, os riscos de incêndio são menores, o sistema de combustível e a atenuação do ruído são simplificados. O motor em teste é acionado por um motor elétrico, sendo assim não existe combustão no teste (Martyr & Plint, 2012).

Segundo os autores Martyr & Plint (2012), o *Cold Test* geralmente inclui:

- a) curva de pressão de óleo ao longo do tempo, para verificar a bomba de óleo e a integridade do circuito de óleo do motor;

- b) torque de partida do motor durante a sequência do teste, que indica pistões ou rolamentos muito apertados ou mau regulados;
- c) sincronismo do virabrequim e do comando;
- d) verificação das pulsações de pressão do *Common Rail*, sistema na qual a injeção de combustível ocorre várias vezes durante o ciclo de abastecimento (Serrano, 2012);
- e) verificação do fluxo de ar de admissão e escape, funcionamento da válvula de compressão;
- f) teste de integridade do chicote elétrico, realizado na mesma estação do teste.

As formas de ondas/assinaturas padrões para qualquer sinal são semelhantes para motores normais ou com defeitos. No caso de um motor defeituoso, os dados observados são anormais, conseqüentemente, as formas de ondas são alteradas. Com esse conhecimento, é possível detectar os defeitos automaticamente nos motores e também apontar a causa raiz do problema. O problema é corrigido antes de danificar o motor (Thyssen Krupp, 2011).

2.3 *Cold Test* versus *Hot Test*

Segundo Gagneur (1999), por muitos anos, fabricantes de motores a diesel dependeram exclusivamente do *Hot Test*, no final de suas linhas de produção, para identificar defeitos e garantir a qualidade. Mas, na maioria dos casos, o teste a quente só é capaz de identificar os efeitos do problema, como, por exemplo, a baixa pressão do óleo, não fornecendo informações sobre a causa do problema, como uma bomba de óleo com defeito. Por outro lado, o *Cold Test* monitora os sinais elétricos da bomba de óleo e sua curva de pressão desde o início de seu funcionamento até o seu desligamento, identificando assim a causa da baixa pressão do motor.

O Banco de Teste é projetado para ler os códigos de identidade no motor, reconhecer variantes, e para ajustar a aprovação ou reprovação em conformidade com os critérios do Setor de Qualidade da empresa. Durante o teste de produção, duas medições são vitais para a integridade da construção do motor: a verificação do torque e o tempo necessário para que a pressão do óleo atinja seu nível normal. Esse processo executado no “chão de fábrica” tem a duração de 5 e 8 minutos (Delvecchio et al., 2007).

Esses tempos elevados dos testes são cada vez mais raros e submetidos a curtos períodos de testes nos dinamômetros. No entanto o *Cold Test* executa o mesmo teste em um tempo menor, por isso ele tem sido uma prática cada vez mais comum, principalmente nos motores de pequeno porte. Nesses motores é comum

a passagem de 100% da produção no processo *Cold Test* e apenas uma pequena porcentagem no *Hot Test* (Gagneur, 1999).

A tecnologia *Cold Test* reforça a constante preocupação com relação à segurança, já que o operador não se aproxima do motor enquanto ele está em movimento, assim os riscos para as pessoas são minimizados. Além disso, seu ruído gira em torno de 50 dB (decibéis), conseqüentemente a máquina não precisa ser enclausurada como nos Bancos de Testes. Outro importante benefício do *Cold Test* é a detecção das falhas antes de as peças se soltarem ou mesmo quebrarem, devido a análise dinâmica dos seus sensores de vibração (Delvecchio, 2012; Martyr & Plint, 2012).

No entanto, segundo Gagneur (1999), existem algumas limitações inerentes ao processo *Cold Test*, como, por exemplo, os vazamentos. Os vazamentos são causados pela expansão diferencial dos componentes durante o aquecimento do motor. Eles não são evidentes e os fluxos dos seus fluidos são mais baixos comparados aos do *Hot Test*. Dessa forma, esses defeitos de manufatura ou componentes não são identificados no *Cold Test*.

3 Metodologia

A estratégia de investigação foi o estudo de caso, método principal deste trabalho, uma vez que a pesquisa empírica ocorreu em uma empresa automotiva específica, localizada na Região Sul do Brasil. Esta pesquisa pretendeu ser de caráter descritivo, uma vez que foram descritos os processos do *Hot Test* e do *Cold Test*. Mas também foi de caráter explanatório, visto que o objetivo foi analisar as semelhanças e diferenças entre os dois processos (Yin, 2015).

Este estudo de caso pretende evidenciar se é possível a substituição de processos de garantia da qualidade, *Hot Test* pelo *Cold Test*. Então realizou-se um estudo teórico dos dois processos, identificando-se os seus requisitos-chave. A pesquisa de campo identificou os principais requisitos para a aprovação dos motores testados. Foram analisadas folhas de processos, históricos de problemas, parametrização dos equipamentos e requisitos da qualidade (Lacerda et al., 2013).

A principal coleta de dados provém da análise dos testes, índices e relatórios dos dois processos, *Hot Test* e *Cold Test*, durante o período de 2011, ano da implementação do *Cold Test* na empresa, até março de 2014. As entrevistas são do tipo não estruturadas, sendo realizadas várias vezes durante a pesquisa, nos dois processos, com testadores do primeiro e segundo turnos, técnicos de processo e de manutenção, engenheiros de processo, manutenção e da qualidade. Ao todo foram entrevistadas 18 pessoas envolvidas nos dois processos.

Segundo Antunes et al. (2013), para detalhar os postos de trabalhos (GPT) nas entradas dos sistemas,

buscaram-se informações nos manuais dos equipamentos, documentos da empresa, análises de falhas (FMEA) e entrevistas. O documento FMEA é baseado no *Automotive Industry Action Group* (AIAG, 2008). A principal técnica de análise foi a comparação entre os dois processos, através da identificação do padrão de ocorrências e a investigação em detalhes das principais causas para as mesmas.

O método de trabalho adotado foi o de Harrington (1993), no qual o autor propõe a gestão do processo através das seguintes etapas: (a) mapeamento; (b) análise; (c) implementação e (d) manutenção. O objetivo principal foi mostrar as características relevantes, os requisitos de aprovação e os limites de cada processo, colocando-os em uma mesma base, facilitando-se assim, a comparação entre os dois.

4 Comparação dos processos *Hot Test* e *Cold Test*

Para a comparação dos dois processos foram colhidas informações do *Hot Test* e do *Cold Test*. A comparação dos dois processos foi embasada e construída por vários critérios, tais como: fluxogramas, eficácia, eficiência, complexidade, níveis de aprovação com relação aos testes realizados, planilhas de bordo e documentos FMEA da empresa.

A questão da plena substituição é uma pergunta muito relevante, visto que a ideia inicial com a compra do *Cold Test* era de torná-lo o único processo, no qual 100% dos motores seriam testados. Contudo a empresa ainda utiliza (2016) os dois processos trabalhando simultaneamente, sendo todos os motores testados primeiro no *Cold Test* e depois no *Hot Test*.

4.1 Mapeamentos dos processos

Para o mapeamento dos processos foram realizados e analisados os seguintes critérios: (a) fluxo do processo; (b) tempo de ciclo; (c) eficácia; e (d) eficiência (Harrington, 1993).

Fluxo dos processos: para facilitar a organização do raciocínio na comparação dos dois processos foram criados dois fluxogramas. Esses fluxogramas demonstram as atividades e tarefas desenvolvidas nos dois processos, possibilitando: verificar os pontos comuns; as atividades que não agregam valor; os pontos de verificações; pontos de decisões; e medições da qualidade.

Visualizando-se os dois fluxogramas na Figura 1, nota-se que o processo *Hot Test* tem mais atividades que o processo *Cold Test*. O acréscimo de atividades no *Hot Test* começa pela disponibilidade dos Bancos de Testes, quando os três Bancos estão ocupados, os motores são direcionados para os pontos de espera. Assim que os Bancos terminam seus testes, os motores saem dos pontos de espera e são direcionados para o Banco livre.

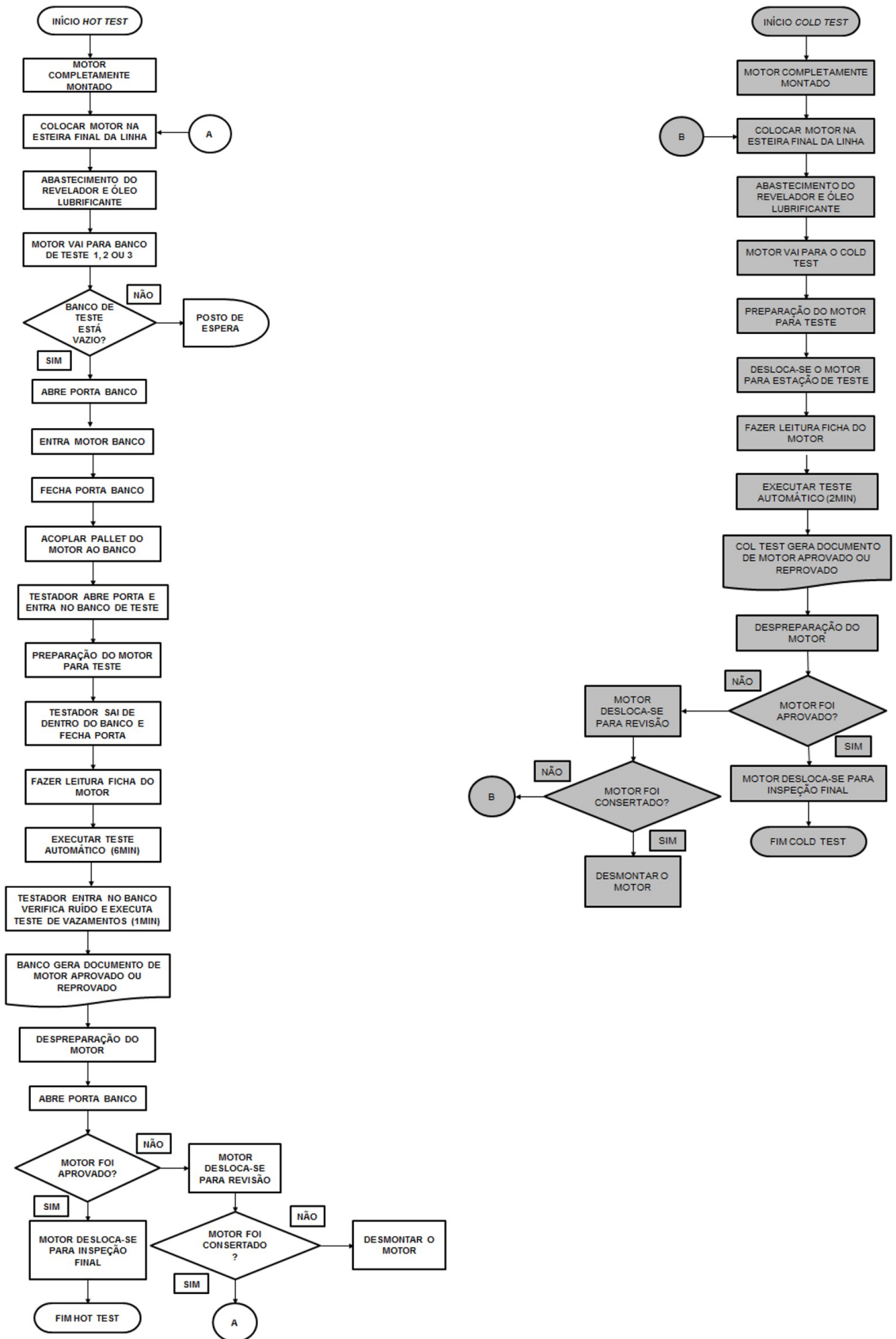


Figura 1. Comparação dos fluxos Hot Test e Cold Test.

A abertura e fechamento das portas por onde entram os *pallets* com os motores que serão testados e a porta de entrada e saída do testador de cada Banco aumentam o tempo do processo. A interligação dos motores aos Bancos de Testes, com seus equipamentos, é realizada automaticamente. Os *pallets* são construídos para se conectarem aos testes de forma rápida e com o menos possível de mão de obra operacional. O tempo para aquecimento e desaceleração do motor no teste, necessário para não danificar o motor, aumenta as atividades necessárias no ciclo automático. Os testes de vazamento e verificação de ruído também agregam tempo e atividades ao fluxo do *Hot Test*.

A preparação do *Cold Test* é concretizada com rapidez através de conexões de engates rápidos, sendo a colocação do volante escravo a atividade que exige mais tempo. O abastecimento de diesel é mínimo, pois a quantidade também é mínima, 0,092 litros por motor. Esse tempo de abastecimento está considerado no ciclo automático do *Cold Test*.

Na despreparação percebe-se um ganho no fluxo do processo *Cold Test*, pois quando o testador A desprepara um motor, o testador B já está executando outro teste. Diferentemente de no processo *Hot Test*, no qual cada Banco tem seu testador e no qual outro motor só pode entrar quando o Banco estiver desocupado.

A eficácia dos processos, ou seja, a medida como o processo atende as necessidades e expectativas dos clientes, demonstrando a sua qualidade (Gonçalves, 2000), será comparada pelos índices PPM (partes por milhão) dos dois processos. O exemplo é de um mês aleatório, mas entende-se que os números em média se repetem.

A Tabela 1 do processo *Hot Test*, mostra um total de 27.192 motores defeituosos por milhão testados nos Bancos de Testes. Mesmo assim, esse é um processo utilizado e aperfeiçoado desde o ano de 1996 nessa empresa. A Tabela 1 apresenta os resultados em partes por milhão (PPM) dos Bancos de Testes em um determinado mês de 2014.

As principais falhas detectadas no *Hot Test* são os vazamentos. O maior desafio para esse processo não está na sua própria linha de montagem, pois 95% das causas dos problemas de vazamentos estão nas peças fornecidas por terceiros.

No mesmo mês de 2014 foi verificado o índice PPM no processo *Cold Test*, conforme Tabela 2, igual a 662 PPM. A Tabela 2, PPM *Cold Test* comprova esses números.

O teste a frio está mais voltado à detecção de falhas no processo, sendo possível identificar peças trocadas, peças com defeitos e falhas ao longo da montagem. São implementadas algumas ações no decorrer da linha de montagem para a solução dos problemas, ou seja, volta-se aos processos anteriores atacando-se as causas.

Percebe-se que o *Cold Test* tem um índice PPM muito melhor que o do *Hot Test*. Porém, o *Cold Test*, quando foi construído, não contemplou os testes de vazamentos e da turbina do motor. Assim, esses defeitos são detectados somente no *Hot Test*, aumentando consideravelmente seu índice.

Os dois processos atendem as expectativas do cliente, visto que os problemas são identificados na própria linha de montagem, antes mesmo de os motores serem enviados para o cliente. A comprovação da eficácia dos dois processos trabalhando em conjunto é o registro de somente duas falhas no cliente, compreendendo os anos de 2012 e 2014.

Eficiência dos processos: esse item mede os recursos aplicados no processo e a maneira certa de produzir uma saída conforme a qualidade requerida (Gonçalves, 2000). Verifica-se uma grande vantagem do *Cold Test* em relação ao *Hot Test*, como mostra o Quadro 1. Os recursos medidos foram produtividade, nível de ruído, utilização de tratamento de efluentes, energia elétrica, ar comprimido, água refrigerada e consumo de combustível.

Analisando-se o Quadro 1, começando pela medição da produtividade, percebe-se que uma máquina *Cold Test* é 3,7% mais eficiente que os três Bancos de Testes (*Hot Test*).

O nível de ruído é um item medido que influencia tanto o ser humano, quanto os investimentos aplicados, principalmente, na construção dos Bancos de Testes. Se os Bancos de Testes não fossem salas enclausuradas, os trabalhadores só poderiam ser expostos a 103 dB pelo período máximo de 45 minutos, conforme descrito na Norma Regulamentadora NR-15. No processo *Cold Test*, o ruído é de 61 dB, menor que em toda a linha de montagem, na qual é de 86 dB, portanto essa máquina não necessita ser enclausurada.

Existe redução de mão de obra especializada no *Cold Test*, como mostra o Quadro 1. Ao se contabilizarem os dois turnos, o *Hot Test* tem dois testadores a mais que o *Cold Test*, sendo um testador

Tabela 1. PPM Bancos de Testes.

Descrições	BT 01	BT 02	BT 03	Total
Produção	1.093	1.048	801	2.942
Rejeições	31	32	17	80
% de rejeição	3%	3%	2%	2,72%
PPM	28.362	30.534	21.223	27.192

Tabela 2. PPM *Cold Test*.

Descrição	CT 01
Produção	3.022
Rejeição	2
% de rejeição	0,07%
PPM	662

Quadro 1. Comparação da eficiência dos dois processos.

Recursos medidos	<i>Hot Test</i>	<i>Cold Test</i>	Comparação	Vantagem
Produtividade (Irog Global)	76,50%	80,20%	Um equipamento <i>Cold Test</i> produz 3,7% a mais que três Bancos de Testes (<i>Hot Test</i>).	<i>Cold Test</i>
Nível de ruído	103 dB	86 dB	O processo <i>Hot Test</i> necessita ser enclausurado, pois conforme NR-15 anexo 1, seu ruído ultrapassa o mínimo de 85 dB para 8 horas de trabalho diárias.	<i>Cold Test</i>
Rede de esgoto tratada	Sim	Não	O <i>Hot Test</i> necessita rede de esgoto tratado para conter vazamentos.	<i>Cold Test</i>
Mão de obra	6 pessoas	4 pessoas	O <i>Hot Test</i> precisa 2 testadores a mais que o <i>Cold Test</i> , contabilizando os 2 turnos.	<i>Cold Test</i>
Energia elétrica	Sim	Sim	Os dois processos necessitam de energia elétrica.	Iguais
Ar comprimido	Sim	Sim	Os dois processos necessitam de ar comprimido.	Iguais
Água refrigerada	Sim	Não	O processo <i>Hot Test</i> necessita de água das Torres de Resfriamento para seus dinamômetros.	<i>Cold Test</i>
Consumo médio de combustível	1,27 L/motor	0,092 L/motor	O consumo médio no <i>Cold Test</i> é 93% menor que no <i>Hot Test</i> . A cada 14 motores abastecidos no <i>Cold Test</i> , 1 motor é abastecido no <i>Hot Test</i> .	<i>Cold Test</i>

por Banco (6 pessoas) contra dois testadores do teste a frio (4 pessoas).

A redução do custo para manter um processo de *Cold Test* é nítida em comparação ao da manutenção do *Hot Test*. O *Cold Test* não utiliza recursos como: rede de esgoto tratada, água refrigerada e seu consumo de diesel é 93% menor que o do processo *Hot Test*. O ar comprimido e a energia elétrica consumida são os únicos recursos utilizados nos dois processos. O *Cold Test* é muito mais benigno ao meio ambiente comparativamente ao *Hot Test*, visto que dispõe menos recursos naturais no seu processo.

4.2 Análises dos processos

O funcionamento dos Bancos de Testes empregados na linha de produção baseia-se no teste de *performance*, alinhado como descrito por Pereira (2009), sendo realizado com variação de rotação e testes de cargas, determinando a potência do motor. Nesse teste verificam-se os parâmetros de torque, rotação, temperatura e pressão exigidos para a validação do motor. Os autores Ferguson & Kirkpatrick (2015) destacam também a necessidade das análises de combustão e de emissões de gases.

Comparando-se a prática com a teoria estudada percebe-se uma discordância na detecção dos vazamentos. Martyr & Plint (2012) descrevem a necessidade de uma estação especial (*Black-light*) para a detecção de vazamentos. Na empresa não existe

uma *Black-light*, simplesmente o testador desliga as luzes do Banco e verifica os vazamentos com uma lâmpada do tipo luz negra.

A análise dos processos consiste em comparar os seguintes atributos: (a) número de pessoas envolvidas no processo; (b) níveis de aprovação; (c) processos administrativos envolvidos; (d) tempo de ciclo; (e) complexidade (Harrington, 1993). O Quadro 2 mostra todos esses critérios e os compara.

Número de pessoas envolvidas: O número de pessoas envolvidas no processo *Hot Test* é maior pela necessidade de operador da Torre de Resfriamento. Os Bancos de Testes necessitam de água para o sistema de resfriamento do motor e dos dinamômetros. A estação de tratamento de efluentes também demanda um operador, responsável pelo tratamento dos esgotos emitidos de cada Banco de Testes. Também existem dois testadores a mais no *Hot Test*.

Processos administrativos: Para a administração desses dois processos são necessárias atividades paralelas à produção, que visam guiar e facilitar o trabalho desenvolvido no chão de fábrica. Entende-se como processos administrativos as atividades envolvidas para que cada processo execute suas funções da forma mais adequada.

O operador do setor de Utilidades também faz a gestão do combustível, atuando na operação das bombas do tanque, recebendo o combustível e fazendo o controle do consumo. O consumo de combustível onera mais o processo *Hot Test*, pois os Bancos

Quadro 2. Comparação dos critérios para identificação dos processos.

Crítérios para identificação	<i>Hot Test</i>	<i>Colt Test</i>	Comparação	Vantagens
Número de pessoas envolvidas	12	8	O processo <i>Hot Test</i> agrega mais dois testadores, um operador de Torre de Resfriamento e um operador de tratamento de resíduos.	<i>Cold Test</i>
Processos administrativos	Sim	Sim	O <i>Hot Test</i> apresenta muito mais processos administrativos, tais como: controle de água, gestão do combustível, controle ambiental nas emissões e tratamento de esgoto, documentação do processo é multiplicada por três (Bancos).	<i>Cold Test</i>
Tempo de ciclo	7 min.	2 min.	O tempo do ciclo automático do <i>Cold Test</i> é 3,5 vezes mais rápido que o do <i>Hot Test</i> .	<i>Cold Test</i>
Complexidade	Sim	Sim	O <i>Cold Test</i> é mais complexo pelo fato de executar mais testes que o <i>Hot Test</i> e ser um processo novo na empresa.	<i>Hot Test</i>
Níveis de aprovação	11	15	O <i>Cold Test</i> tem 8 níveis de aprovação em vantagem e 7 iguais em relação ao <i>Hot Test</i> . O <i>Hot Test</i> tem 7 níveis de vantagem e 3 iguais em relação ao <i>Cold Test</i> , porém o <i>Cold Test</i> não detecta vazamentos.	Dúvida

consomem 93% de combustível a mais que o teste a frio. A documentação de controle dos processos é outro item que agrega mais valor ao *Hot Test*, visto que é necessário multiplicá-la por três Bancos de Testes. Os Bancos de Testes têm saída para o esgoto, pois vazamentos são comuns no teste. O efluente vai até a central de tratamento da fábrica, onde fica um operador responsável.

Tempo de ciclo: O tempo de ciclo já foi tratado anteriormente com as tarefas de *setup*, agora compara-se somente o tempo do ciclo automático, ou seja, o motor já está preparado para o teste e o operador aciona o início de ciclo. O tempo para a execução do ciclo automático é uma das grandes vantagens do *Cold Test*, visto que é 3,5 vezes mais rápido que os três Bancos de Testes (*Hot Test*). No artigo dos autores Delvecchio et al. (2007), também é confirmada essa redução considerável do tempo, pois em sua comparação o *Hot Test* leva 12 minutos e o *Cold Test* executa-se em 2 minutos no ciclo em automático.

Complexidade: O critério complexidade é algo difícil de ser medido. No entanto, analisando-se os dois processos, nota-se que os operadores tanto do *Cold* como do *Hot* são os mais capacitados da linha de montagem. A questão da escolaridade é um requisito importante, visto que todos os testadores dos dois processos têm o segundo grau técnico. Porém, pode-se concluir que o processo *Cold Test* é mais complexo, pelo fato de fazer mais testes e exigir maior capacidade interpretativa que o *Hot Test*. Além de ser um processo mais novo, com o qual os operadores não estão familiarizados. O *Hot Test* tem testadores com 18 anos de experiência, já

no *Cold Test* os operadores têm no máximo 3 anos de experiência.

Níveis de aprovação: Entende-se como níveis de aprovação os testes executados para que o motor esteja apto a ser montado no veículo, ou seja, motor aprovado. Para que o motor seja aprovado no *Hot Test*, por exemplo, ele deve estar isento de qualquer tipo de vazamento, tem que atingir velocidades (RPM) mínimas e máximas nos passos do processo, conforme cargas específicas de projeto, comprovando-se assim sua potência.

No *Hot Test* controlam-se a temperatura e pressão de óleo lubrificante, óleo diesel, admissão e escape. Existem aparelhos específicos, tais como, *Blow By Meter* e *Smoke Meter*, para aprovar respectivamente a pressão interna do óleo e os níveis de fumaça do motor.

O *Cold Test* é um teste dinâmico, pois suas medidas são contínuas no decorrer do ciclo, e o *Hot Test* é um teste estático, já que suas medidas são determinadas em pontos específicos do teste. Como a rotação do teste a frio é muito baixa (80 a 1.000 RPM) em comparação com o *Hot Test* (800 a 3.600 RPM), a comparação fica prejudicada, pois os motores estão operando em condições diferentes.

O Quadro 3 apresenta a comparação dos níveis de aprovação item por item, identificando na coluna condição, vantagem, desvantagem ou igualdade entre os dois processos.

Os testes considerados compatíveis nos dois processos são: teste elétrico, teste de pressão do óleo, teste de exaustão, teste de torque, torque de arranque e torque e de pressão do óleo. O teste de pressão do *Rail* consiste em um monitoramento preciso durante

Quadro 3. Comparação dos níveis de aprovação dos dois processos.

		X	Níveis de aprovação <i>Hot Test</i>	Condição
			Teste elétrico	Iguais
Condição	Níveis de aprovação <i>Cold Test</i>		Vazamentos nos sistemas de diesel, água, óleo, escape e admissão	Vantagem
Iguais	Teste elétrico		Teste de potência do motor	Vantagem
Vantagem	Pressão do <i>Rail</i>		Ruídos: cabeçote, turbo, interno, admissão e escape	Desvantagem
Vantagem	Teste dos injetores		Pressão e temperatura do óleo lubrificante	Iguais
Vantagem	Teste de vibração 01		Pressão e temperatura de exaustão	Iguais
Vantagem	Teste de vibração 02		Pressão e temperatura da água	Vantagem
Vantagem	Teste de pressão óleo <i>HS</i>		Pressão e temperatura do <i>cooler</i> (turbina)	Vantagem
Iguais	Teste de sincronismo <i>CAM</i>		Pressão do vácuo	Vantagem
Iguais	Teste de sincronismo <i>CRANK</i>		Pressão interna (<i>Blow By</i>)	Vantagem
Iguais	Teste de exaustão		Medidor de fumaça (<i>Smoke Meter</i>)	Vantagem
Vantagem	Teste de admissão			
Iguais	Teste de pressão do óleo			
Vantagem	Teste de torque			
Iguais	Torque de arranque			
Iguais	Torque e pressão do óleo			
Vantagem	Teste do sistema de diesel			

todo o ciclo no *Cold Test*, já no *Hot Test* é somente testado o sensor do *Rail*.

O teste de pressão do óleo *HS* (*High Speed*) é concretizado nos dois testes, no entanto problemas na pressão do óleo lubrificante no processo *Hot Test* normalmente danificam o motor, já no *Cold Test* não existe esse risco.

Testes de sincronismo *CAM* e *CRANK*: no *Cold Test*, o sincronismo do comando e do virabrequim são monitorados constantemente durante o teste, fazendo uma varredura de 360°, já no *Hot Test* esses sensores são monitorados somente nos pontos de injeção do combustível.

Os testes de vibração 01 e 02 do *Cold Test* são comparados ao teste de ruído do *Hot Test*. Pode-se considerar mais vantajoso o *Cold Test*, pois sua medição é qualitativa (medida de dois acelerômetros), enquanto no *Hot Test* é subjetiva (depende da experiência de cada testador).

Os testes somente realizados no *Cold Test* são: teste de admissão, teste do sistema de diesel, testes dos injetores, no qual cada injetor é monitorado e tem a sua curva padrão comparada para posterior aprovação.

Os testes somente realizados no *Hot Test* são: pressão e temperatura da água, pressão e temperatura do *cooler* (turbina), pressão do vácuo, teste de pressão interna (*Blow By*), teste *Smoke Meter* ou teste de fumaça. O teste de vazamentos acaba sendo um grande diferencial, pois não existem testes de vazamento no *Cold Test*. Por fim, o teste de potência é somente praticado no *Hot Test*, pois é monitorada a rotação em relação à carga (torque) correspondente em cada passo do teste – dessa forma aprova-se ou reprova-se o motor em função de sua potência.

4.3 Implementação dos processos

Para operar o *Cold Test* não foram contratados novos funcionários, mas sim aproveitados colaboradores com maior escolaridade e experiência na linha de montagem. Equipamentos especiais portáteis e pesos padrão foram comprados para a calibração de transdutores de pressão, célula de carga e sensores analógicos. As principais peças de reposição da máquina também foram compradas.

Após a completa ligação da máquina, foi implementado um teste piloto em conformidade com a Thyssen Krupp (2011), no qual 5% da produção de motores passaram no *Cold Test* antes do *Hot Test*. Assim foram realizados ajustes finos nos parâmetros de controle, a fim de validar o processo para a completa implementação: testar 100% dos motores. Esse teste piloto foi executado durante 3 meses até ser completamente liberado e disseminado para a produção.

4.4 Manutenção dos processos

A manutenção dos processos é realizada através de um monitoramento diário. Os dois processos têm planilhas contendo informações de cada motor testado. Essas planilhas contêm informações que ajudam a entender e controlar eventuais variações, tornando-se um sistema de *feedback* dos processos. Existe também um sistema de rastreabilidade no qual são armazenados os dados de cada motor testado automaticamente no servidor da fábrica.

Os monitoramentos das informações estão de acordo com a teoria estudada em Antunes (2009) e

Antunes et al. (2013), pois são acompanhadas não só pelos testadores, mas também pelos técnicos operacionais, técnicos de processos, engenheiros de processos e o setor de manutenção da fábrica, visto que esses dois processos são considerados chave para a empresa. Todo esse controle e acompanhamento têm como meta garantir a eficiência e eficácia dos dois processos.

Em cada processo existe um computador com uma planilha, chamada Diário de Bordo. Nela constam informações relacionadas ao turno, testador, número de série do motor, diagnóstico da parada, observações relacionadas ao chicote elétrico (Teste *NOK* – específica o defeito elétrico), resultados dos testes, observações e tempo da parada do motor, data, hora e turno do teste, consumo de diesel, descrição da rejeição ou correção, tipo de parada e observações da parada. Todas essas informações são colhidas de cada motor testado no *Hot Test* e no *Cold Test*. Com base nessas informações, o engenheiro de cada processo investiga as causas das rejeições e executa as ações para solucionar os problemas, controlando diariamente o processo.

5 Considerações finais

Os processos foram mapeados, analisados e inseridos em uma mesma base, facilitando o seu entendimento. Identificaram-se relações com o referencial teórico e evidências de que o *Cold Test* apresenta grandes vantagens em comparação ao *Hot Test*.

Apesar do *Cold Test* demonstrar vários benefícios no seu processo, requisitos importantes de aprovação do *Hot Test*, tais como vazamentos e testes no turbo-compressor não são identificados no *Cold Test*. Por isso, o *Hot Test* tem maior confiabilidade e, conseqüentemente, maior vantagem. O *Cold Test* previne que a empresa tenha defeitos de processo (parafusos sem torque, falta ou troca de componentes) no motor validado, completamente montado. Essas constatações trazem a ideia de complementaridade dos processos.

Os defeitos no turbo-compressor não foram detectados, porque o mesmo só é montado depois de o motor passar pelo processo *Cold Test*. Teoricamente, o turbo-compressor deveria ter plena garantia de qualidade do seu fornecedor, já que o *Cold Test* estudado não foi configurado para testar o motor com o turbo-compressor.

Respondendo à questão da pesquisa, o *Cold Test* não pode substituir plenamente o *Hot Test*, e sim os testes são complementares. Mesmo porque o *Cold Test* não é capaz de detectar vazamentos e testar o funcionamento do conjunto turbina dos motores diesel. Estudando esses itens não contemplados no teste a frio, constatamos que eles poderiam ter sido incorporados. Tudo indica que não foram introduzidos talvez por inexperiência das pessoas envolvidas no escopo do projeto, ou por questões envolvendo custos.

Apesar desses problemas, o *Cold Test* comprovou ser um processo sustentável, pois atendeu aos três pilares do conceito *Triple Bottom Line* (Elkington, 1997), divididos nos aspectos econômico, humano e ambiental. No aspecto econômico, o *Cold Test* aumentou os ganhos financeiros da empresa, proporcionando mais rapidez e menor custo. No aspecto humano, o processo diminuiu os riscos de acidentes e o nível de ruído ao qual seus colaboradores são expostos. No aspecto ambiental estão os maiores ganhos, visto que o processo não utiliza água, diminuiu muito o consumo de combustível, evita a emissão de gases poluentes e a poluição dos efluentes, comparativamente ao *Hot Test*.

Várias pesquisas futuras podem ser realizadas, uma delas para responder justamente, sobre a real importância do envolvimento e do trabalho conjunto de toda a cadeia produtiva para o desenvolvimento adequado do processo *Cold Test*. Uma comparação dos custos de implementação dos processos *Hot Test* e *Cold Test*. Um levantamento do ponto de vista econômico dos dois processos. E, por fim, um estudo sobre o impacto ambiental na troca de um processo *Hot Test* por um processo *Cold Test*.

Referências

- Automotive Industry Action Group – AIAG. (2008). *Potential failure mode and effect analysis (FMEA)* (4. ed.). Southfield: AIAG.
- Antunes, J. (2009). *Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta*. Porto Alegre: Bookman.
- Antunes, J., Klippel, A. F., Seidel, A., & Klippel, M. (2013). *Uma revolução na produtividade-a gestão lucrativa dos postos de trabalho*. Porto Alegre: Bookman.
- Atkins, R. D. (2009). *An introduction to engine testing and development*. Warrendale: SAE International. <http://dx.doi.org/10.4271/R-344>.
- Delvecchio, S. (2012). *On the use of wavelet transform for practical condition monitoring issues*. Croatia: InTech Open Access Publisher. <http://dx.doi.org/10.5772/35964>.
- Delvecchio, S., Dalpiaz, G., Niculita, O., & Rivola, A. (2007). Condition monitoring in diesel engines for cold test applications. Part I: vibration analysis for pass/fail decision. In *Proceedings of the 20th International Congress & Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*. Portugal.
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century*. Oxford: Capstone.
- Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2015). *Internal combustion engines: applied thermosciences*. New York: John Wiley & Sons.
- Fogaça, P., Secundino, L. H. C. N., César, J. H., & Manéa, F. (2014). O processo *Cold Test* nos motores

- diesel. In *Anais do XXI Simpósio de Engenharia de Produção*. Bauru: Unesp.
- Gagneur, J.(1999). *Improving diesel engine cold testing diagnostic capabilities*. Michigan: Diesel Progress North American Edition, Diesel and Gas Turbine Publications, Gale Group.
- Gonçalves, J. E. L. (2000). As empresas são grandes coleções de processos. *Revista de Administração de Empresas*, 40(1), 6-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75902000000100002>.
- Harrington, J. (1993). *Aperfeiçoando processos empresariais*. São Paulo: Makron Books.
- Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A., & Antunes Júnior, J. A. V. (2013). Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, 20(4), 741-761. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>.
- Martins, G. (2013). *Motores de combustão interna* (4. ed.). Porto: Publindústria.
- Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2011). *Engine testing: theory and practice*. Boston: Elsevier.
- Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2012). *Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities*. Boston: Elsevier.
- Mudge, R. K., & Rice, E. E. (1984). US Patent No. 4,448,063. Washington: U.S. Patent and Trademark Office.
- Pereira, J. (2009). *Motores e geradores: princípio de funcionamento, instalação e manutenção de grupos diesel geradores*. Recuperado em 1 de setembro de 2017, de http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_1.html
- Scourtes, G., Gagneur, J. P., & Yush, E.(1994). US Patent No. 5,355,713. Washington: U.S. Patent and Trademark Office.
- Serrano, L. M. V. (2012). *Análise comparativa do desempenho de motores de combustão interna quando utilizam biocombustíveis* (Tese de doutorado). Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Thyssen Krupp. (2011). *System engineering, station cold test and repair PC*. Bremen: Thyssenkrupp System Engineering GmbH.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: The Bookman.