

UTILIZAÇÃO DA MATRIZ MORFOLÓGICA PARA DESENVOLVIMENTO DA BANCADA DE TESTES DE VÁLVULAS E SEDES DE VÁLVULAS

Luis Alberto Breda Mascarenhas, breda@fieb.org.br¹
Jefferson de Oliveira Gomes, gomes@ita.br²
Andrey Teixeira Portela, andrey.portela@fieb.org.br¹
Cristiano Vasconcellos Ferreira, cristiano.v.ferreira@ufsc.br³
Lilian Lefol Nani Guarieiro, lilian.guarieiro@fieb.org.br¹

¹ SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã. Cep. 41.650-010. Salvador. Bahia

² ITA/CCM, Praça Marechal Eduardo Gomes, nº 50 - Vila das Acácias. CEP 12.228-970 - São José dos Campos, SP

³ UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joiville, SC, Brazil

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma matriz morfológica, aplicada no desenvolvimento de uma bancada experimental para testes de válvulas e sedes de válvulas automotivas. A matriz morfológica apoiou o processo de desenvolvimento de produto na tradução dos requisitos técnicos das partes envolvidas em funções parciais e princípios de solução com base no estudo de 5 bancadas de testes similares. Também é apresentada análise dos requisitos para que a bancada possa apoiar o desenvolvimento de novos materiais para válvulas e sedes de válvulas. As válvulas de exaustão são as mais exigidas em função da temperatura de operação. Para que funcionem conforme o rigor de operação com uma queima limpa e baixa emissão de poluentes é necessária aplicação de materiais especiais. Temperaturas extremas dos gases de escapamento, crescentes aumentos das velocidades das válvulas e altas pressões são apenas alguns dos parâmetros que ocasionam desgaste nas válvulas. Os materiais usados na sua produção devem ser caracterizados por boa trabalhabilidade, baixo desgaste, boa resistência mecânica e de fadiga e boa resistência a corrosão em altas temperaturas. Ao final é apresentado a arquitetura do sistema e a bancada final, desenvolvida para os testes dos componentes em alta temperatura.

Palavras-chave: matriz morfológica; bancada de testes; ensaios de desgaste; válvulas e sedes de automotivas; alta temperatura

1. INTRODUÇÃO

A tendência na área de motores para veículos de passeio é que eles sejam cada vez menores e que entreguem potências cada vez maiores, respeitando normas rígidas de emissões de poluentes. Para isso é necessária aplicação de estratégias como utilização de turbo compressores, aumento da taxa de compressão, elevação da temperatura de trabalho entre outros. Para que o motor suporte essas mudanças seus componentes precisam ser otimizados tornando-os mais leves (Bae & Bae 2006).

O cilindro de um motor de combustão interna e os componentes que interagem no processo de combustão trabalham sempre em condições extremas. As válvulas e sedes são responsáveis por manter a câmara de combustão estanque durante o processo de compressão e combustão, permitir a entrada da mistura ar-combustível (veículos sem injeção direta) e saída dos gases resultantes da combustão. Para que tudo funcione devidamente, a válvula atinge altas velocidades de impacto (em torno de 500mm/s), suporta grandes cargas oriundas da pressão da combustão (10 a 24kN), altas temperaturas (600 a 750 °C) além de suportar o ataque químico do combustível, óleo lubrificante e vapores resultantes do processo de combustão. Fabricantes de válvulas e sedes estão continuamente trabalhando com fabricantes de motores para melhorar a qualidade do sistema de válvulas e prolongar sua vida útil (Chun & Hong 2005).

Atualmente ensaios de válvulas e sedes de válvulas são realizados em bancos dinamométricos porém seu custo é extremamente elevado devido à grande demanda dos dinamômetros existentes no mundo pra ensaios de diversos componentes dos motores. Além disso para se realizar um ensaio de desgaste em válvulas e sedes de válvulas em dinamômetro é necessário um motor novo completo e após cada ensaio o motor é completamente descartado, elevando ainda mais o custo desse tipo de análise.

Em outubro de 2010, 12 empresas, a exemplo de Villares Metals, Ford, GM, Metal Leve, MWM, Thyssen Krupp, CCM/ITA, Instituto Fraunhofer, dentre outras se reuniram para formar a Rede Cooperativa para Análise de Requisitos e Restrições de Fabricação do par sede de válvula e válvula de motores de combustão interna. Naquele momento entendeu-se que seria necessário desenvolver uma bancada de testes para este conjunto para simular as condições do motor.

No início dos trabalhos, para organizar as informações e compreender melhor o problema de projeto, empregou-se a Matriz do QFD (Quality Function Deployment), especialmente, a 1ª Matriz, também denominada de Casa da Qualidade. O QFD é baseado no ambiente de melhoria contínua e pode ser resumido na transformação das necessidades dos consumidores (lista de requisitos) em características da qualidade para o produto final através dos desdobramentos

das relações entre necessidades e características. Essa ferramenta tem por principal vantagem a redução de alterações no produto durante seu desenvolvimento por identificar antecipadamente através das necessidades as melhores soluções a serem utilizadas, gerando assim redução de custos, tempo e riscos (Rozenfeld *et al.* 2006).

A lista de especificações do projeto é apresentada na Tabela 1 e contém um conjunto de decisões que serve como referência para as próximas etapas do projeto. As especificações são apresentadas na ordem de importância calculada na matriz da casa da qualidade. São 18 requisitos ao total sendo que serão descritos os 5 principais.

Tabela 1 - Especificação de projeto para a bancada de teste de válvulas e sedes de válvulas.

Especificação de Projeto	Objetivo	Sensor	Saída Indesejável
1 Quantidade de câmaras de combustão	4	NA	Perda da função de uma das câmaras
2 Ambiente de combustão confinado	Reduzir perda de calor e conter gases corrosivos	Termopares	Vazamento de gases corrosivos
3 Bomba de alta pressão com alta eficiência	Capacidade de ensaios com até 15 kN	Célula de carga	Variação das cargas aplicadas
4 Controle da frequência da carga	Maximizar	De posição e célula de carga	Tempo longo de ensaio
5 Baixa incerteza na medição de temperatura	Minimizar	Termopares	Análises incoerentes

1 – Quantidade de Câmaras de Combustão – A quantidade de câmaras de combustão vai influenciar em fatores como tempo para realização de ensaios, custo da bancada e confiabilidade dos ensaios. Com mais de uma câmara, poderão ser ensaiadas réplicas que vão aumentar a confiabilidade do ensaio e reduzir o tempo de ensaio. O custo será maior, pois serão envolvidos mais materiais como aqueles que serão aplicados para aquecimento, aplicação carga, dentre outros. A opção por quatro câmaras de combustão foi baseada no mais utilizado plano de experimentos que é o 2k fatorial.

2 - Ambiente de combustão confinado – O ambiente de combustão deve ser confinado por dois motivos. O primeiro é que com esta opção será mais fácil garantir que o ambiente corrosivo que é presente nos motores de combustão interna seja reproduzido na bancada. O segundo é que desta forma será possível atingir temperaturas mais altas, que é outra interpretação para o requisito.

3 - Bomba de alta pressão com alta eficiência – Este será o principal elemento para garantir a aplicação de carga em alta frequência e com baixas variações da carga. A reprodutibilidade dos dados da pesquisa depende da capacidade de se repetir as condições que foram postas aos componentes ensaiados. A pressão da bomba deve ser capaz de produzir cargas até 25 kN.

4 - Controle da frequência da carga – Este controle é fundamental para se garantir a repetibilidade dos ensaios. Os ensaios serão medidos em tempo e a frequência da aplicação da carga deverá ser um dos fatores a serem especificados no planejamento de experimentos. Uma característica que é derivada da frequência é a velocidade de impacto da válvula com a sede e o seu comportamento precisa ser verificado em altas temperaturas. Daí a necessidade deste parâmetro. Sistema deverá ser capaz de operar entre 6 e 25 Hz.

5 - Baixa incerteza na medição de temperatura – Será necessário controlar a temperatura dentro da câmara de combustão, pois esta vai ser uma das variáveis de controle no ensaio. Trabalhos anteriores mostram comportamentos ao desgaste antagônicos. Termopares poderão ser utilizados para este fim e a redundância levará à uma redução da incerteza de medição. A resolução de 1 °C é comum em termopares e atende as condições de operação da bancada.

Uma vez entendido o problema de projeto, iniciou-se a geração de solução para o projeto do produto. Para isto, inicialmente, o problema de projeto foi estruturado em funções e sub-funções, utilizando-se o Método da Função Síntese (Pahl *et al.*, 2005). Na sequência foi elaborada a estrutura de funções para a bancada e utilizou-se o Método da Matriz Morfológica para gerar as soluções para o projeto e o Método de Pugh para realizar a seleção da melhor concepção.

2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi montada a estrutura funcional para a bancada, a partir da identificação do fluxo de três entidades: energia, material e sinal. As funções principais foram desdobradas em funções secundárias, (menor nível de complexidade), até se atingir um nível de detalhamento que seja suficiente para o entendimento e posterior análise das soluções conceituais possíveis para as mesas. A Figura 1 apresenta a estrutura funcional da bancada. A função principal é a de ensaiar válvulas e sedes de válvulas automotivas. A fronteira do sistema define as entradas e saídas das entidades material, energia e sinal. No caso, os materiais que entram no sistema são: GLP, ar comprimido, válvulas e sedes novas, a serem ensaiadas e água do sistema de refrigeração. Os materiais que saem são: gases de exaustão, válvulas e sedes ensaiadas. Na dimensão energia a entrada é de energia elétrica que se transforma em movimento e calor. Os sinais são

referentes aos controles para se realizar o carregamento dinâmico, aquecimento, refrigeração e depois para a aquisição dos parâmetros dos ensaios como temperatura, carga, frequência e deslocamento.

O método da matriz morfológica consiste em uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema. Para aplicar o método, inicialmente, a equipe identificou as funções ou operações e parâmetros do processo. No 2º passo, a equipe preencheu a primeira coluna da matriz com as funções e ou parâmetros do problema. Essas funções mais gerais podem sofrer desdobramentos quanto à forma em que são feitas e que tipos de dispositivos ou de princípios poderão ser utilizados. (Back et al, 2008)

A seguir, a equipe buscou princípios de solução alternativos para cada operação ou parâmetro. Neste passo, para cada item na primeira coluna buscam-se formas ou princípios de solução, de forma independente, sem se preocupar com as demais linhas da matriz. Em cada linha da matriz, nas diversas colunas registram-se soluções que podem ter a forma de descrições literais ou representações gráficas. Essas soluções podem ser o resultado de um levantamento da literatura, utilização de mecanismos de outras máquinas ou então soluções criadas usando métodos como *brainstorming*, analogias ou outros descritos anteriormente. Serão preenchidas, para cada linha, tantas colunas quantas soluções forem encontradas. (Back et al, 2008)

Finalmente, a equipe buscou soluções ou concepções alternativas para o problema global formulado. Uma vez construída a matriz morfológica, procura-se estabelecer combinações adotando um princípio de solução de uma linha com os princípios das demais linhas. Assim, rapidamente, pode-se gerar um número elevado de concepções alternativas para o projeto do produto. (Back et al, 2008)

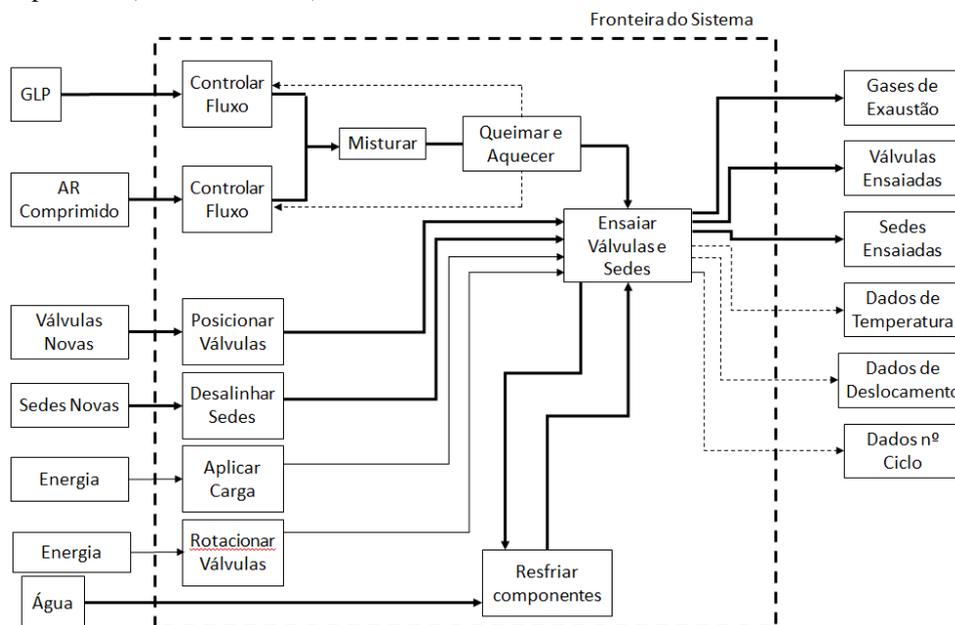


Figura 1 - Estrutura de funções para ensaiar válvulas e sedes - visão geral

Em se tratando do desenvolvimento da Bancada de Testes de Válvulas e Sedes de Válvulas, observou-se que a mesma tem como função global um dispositivo mecânico capaz de simular condições de motores de combustão interna ciclo Otto e Diesel e assim testar válvulas e sedes de válvulas em sua geometria real, podendo ao final do ensaio inferir o desgaste superficial de ambos (Mascarenhas *et al.* 2014).

Para realizar o desdobramento da bancada (função global) em sub-sistemas (sub-funções), com base nos parâmetros de operação dos motores de combustão interna Otto e Diesel e observando o estado da arte, foi gerada uma lista de requisitos de projeto necessários para se desenvolver uma estrutura de testes em forma de bancada que seja capaz de realizar ensaios de fadiga em válvulas e sedes de válvulas, em condições mais próximas daquelas presentes no funcionamento dos motores. A identificação dos requisitos ocorreu levando em consideração quatro visões de interesse. A dos fabricante de materiais para válvulas e sedes de válvulas que precisam comprovar às especificações técnicas dos materiais. A dos fabricantes dos componentes (válvula e sede), onde são levados em consideração os parâmetros de fabricação. A das montadoras de veículos, que precisam testar e garantir a vida útil do produto comercializado. A dos pesquisadores do tema que precisam avaliar os resultados com confiabilidade para suportar as suas análises.

Os parâmetros de operação que foram levados em consideração são: altas temperaturas (referentes a temperatura que as válvula de exaustão operam); altas cargas devido a força aplicada pela mola, compressão da câmara e pressão resultante da expansão dos gases na combustão; velocidade de fechamento da válvula contra a sede, o que acarreta no impacto entre esses componentes; rotação da válvula, que em motores ocorre naturalmente para que o desgaste da válvula com a sede se torne mais homogêneo; ataque químico do combustível e dos produtos resultantes da combustão, além da contaminação do óleo lubrificante.

Com base nestas informações, foi realizado o desdobramento funcional da bancada, ou seja, a identificação de funções e subfunções. As funções principais identificadas para a bancada foram: i) Posicionar sedes e válvulas; ii) Prover estrutura; iii) Aquecer e refrigerar o sistema; iv) Realizar o carregamento dinâmico; e, v) Rotacionar válvulas. Na tabela 1, estas funções estão apresentadas na coluna de funções parciais de 1ª ordem. Estas funções foram desdobradas em funções parciais de 2ª ordem, visando facilitar a identificação de princípios de soluções.

Para gerar os princípios de solução foram utilizados métodos de criatividade, ou seja, foram identificados diversos princípios de solução para cada uma das 25 funções parciais de segunda ordem. A matriz morfológica completa é apresentada na Tab. 1, da qual o objetivo era extrair o melhor conceito de solução para as principais funções.

Tabela 2 - Matriz Morfológica do Desenvolvimento da Bancada de Válvulas e Sedes de Válvulas

Funções parciais 1ª ordem	Funções parciais 2ª ordem	Princípios de Solução			
		A	B	C	D
Posicionar as sedes e válvulas	(1) Montar válvulas	Acesso pela frente	Acesso pelas laterais	Acesso por cima	Bipartido
	(2) Montar sedes	Interferência	Pino	Parafuso	Cola
	(3) Evitar o desalinhamento da sede	Parafuso sem fim	Pino Guia	Moto redutor elétrico	Ajuste Manual
Prover Estrutura do Sistema	(4) Suportar válvulas	Mola	Fixo		
	(5) Suportar estruturalmente as sedes	Encaixada em uma placa central	Encaixada em uma peça intermediária	Sede usinada na própria placa	
	(6) Prover suporte à carga aplicada	Mesa de reação	Base de concreto	Estrutura metálica	Máquina universal de ensaio
	(7) Prover câmara de combustão	Uma câmara	Duas câmaras	Quatro Câmaras	Uma câmara, várias válvulas
	(8) Prover material da câmara	Ferro Fundido	Liga de Alumínio	Aço Inoxidável	Liga de níquel
	(9) Visualizar o fenômeno	Janela de Sílica Glass	Janela de Safira	Janela de Quartzo	Câmera de vídeo

Tabela 2 (Continuação) - Matriz Morfológica do Desenvolvimento da Bancada de Válvulas e Sedes de Válvulas

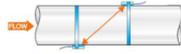
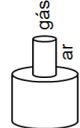
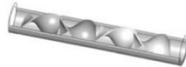
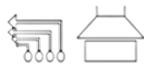
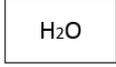
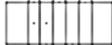
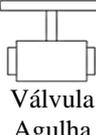
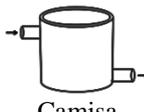
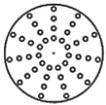
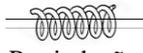
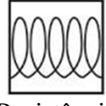
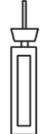
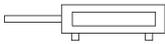
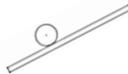
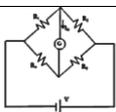
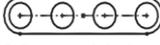
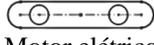
Funções parciais 1ª ordem	Funções parciais 2ª ordem	Princípios de Solução			
		A	B	C	D
(11) Controlar o Fluxo de ar	 Medidor de vazão digital	 Medidor de vazão (rotâmetro)	 Placa de orifício	 Medidor por Ultrassom	
(12) Misturar os gases	 Pré-mistura	 Pré-mistura	 Pós-mistura	 Misturador com hélice estática	
(13) Iniciar a queima de gases	 Velas automotivas	 Ignitores de fogão	 Centelhador industrial	 Chama piloto	
(14) Prover a Exaustão de gases	 Exaustão individual	 Exaustão externa (ambiente)	 Exaustão individual e externa		
(15) Arrefecimer o sistema	 A água	 Ao ar	 A óleo		
(16) Trocar Calor	 Radiador Automotivo	 Trocador de calor industrial	 Ventiladores Industriais	 Serpentina térmica interna a estrutura	
(17) Medir a temperatura	 Pirômetro	 Termopar	 Laser	 Termômetro	
(18) Controlar vazão	 Válvula Agulha	 Solenóide Automatizada	 Válvula gaveta		
(19) Prover Isolamento térmico	 Camisa de cerâmica	 Lã de vidro	 Camisa refrigerada água	 Manta cerâmica	

Tabela 2 (Continuação) - Matriz Morfológica do Desenvolvimento da Bancada de Válvulas e Sedes de Válvulas

Funções parciais 1ª ordem	Funções parciais 2ª ordem	Princípios de Solução			
		A	B	C	D
	(20) Aquecer o sistema	 Queimador tipo Chuveiro	 Queimador tipo circular	 Queimador individual	 Por indução
		 Resistência elétrica	 Ar quente	 Maçarico	
Prover carregamento dinâmico	(21) Atuar no sistema	 Hidráulico	 Pneumático	 Excêntrico	 Alavanca
	(22) Controlar a frequência	Sistema MTS	 Desenvolvimento de um sistema		
	(23) Medir a carga	 Célula de carga	 Dinamômetro		
Rotacionar as válvulas	(24) Prover a rotação de válvulas	 Motor elétrico individual	 Motor elétrico para todas as válvulas	 Motor elétrico para cada par	 Moto redutor direto
	(25) Aplicar a rotação	 Correia com polias	 Corrente com engrenagens	 Pinhão e cremalheira	 Pino

Com base nos princípios de solução gerados, a equipe de projeto iniciou a combinação destes princípios visando o desenvolvimento das alternativas de concepção do equipamento. Para isto, procurou-se identificar os princípios que apresentavam maior afinidade, assim como, atendiam de melhor forma os objetivos do projeto.

Na Tabela 3 estão apresentadas as alternativas de concepção geradas para o produto. As letras das alternativas de solução são equivalentes a coluna do princípio de solução da Matriz Morfológica.

Tabela 3 - Matriz das Soluções

Funções parciais - 1ª ordem	Funções parciais - 2ª ordem	Alternativas de Solução			
		S1	S2	S3	S4
Posicionamento das sedes e válvulas	(1) Montagem das válvulas	D	D	C	C
	(2) Montagem das sedes	A	A	B	B
	(3) Desalinhamento da sede	A	A	A	D
Função Estrutural	(4) Suporte das válvulas	A	A	A	A
	(5) Suporte estrutural das sedes	A	B	B	C
	(6) Suporte à carga aplicada	A	D	C	B
	(7) Câmara	A	D	C	B
	(8) Material da câmara	D	D	C	C
	(9) Visor	D	D	C	C
Aquecimento/ Refrigeração	(10) Controle de fluxo de GLP	D	D	B	B
	(11) Controle de Fluxo de ar	D	D	B	B
	(12) Mistura de gases	C	D	A	B
	(13) Iniciar a queima de gases	A	C	B	B
	(14) Exaustão de gases	A	B	C	B
	(15) Arrefecimento	A	C	A	B
	(16) Trocadores de Calor	D	D	D	A
	(17) Medição de temperatura	C	C	B	B
	(18) Controle de vazão	B	B	A	C
	(19) Isolamento térmico	A	C	D	B
Carregamento dinâmico	(20) Aquecedor	D	B	C	A
	(21) Tipo de atuador	A	A	A	C
	(22) Controle de frequência	A	A	A	A
	(23) Medição de carga	A	A	A	A
Rotação de válvulas	(24) Rotação de válvulas	B	A	C	B
	(25) Forma de Aplicação	A	A	A	A

3. SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO

Para realizar a seleção das alternativas de concepção foi aplicada a Matriz de PUGH. Para isto, foram considerados os requisitos de projeto e seus respectivos, pesos de importância obtidos na 1ª Matriz do QFD. Desta forma, cada concepção foi avaliada em relação aos requisitos, utilizando uma escala de desempenho. No caso, o valor (1) representa o pior desempenho, enquanto o valor (5) o melhor desempenho. A avaliação foi feita por dois Engenheiros Mecânicos, um Tecnólogo em Sistemas Automotivos, uma Química, e um Engenheiro de Manutenção Mecânica.

E, para realizar as avaliações procurou-se compreender sobre os impactos do emprego dos princípios de solução sobre o desempenho da concepção. Por exemplo, com base na primeira função parcial do produto, montagem das sedes. A válvula tem que ser levada a se chocar contra a sede de forma cíclica, necessitando assim de um encaixe preciso e firme. No caso, quatro alternativas foram analisadas para atender a função. A condição de atendimento a função é que a atividade de montar e desmontar a sede deve ocorrer sem que haja danos na amostra, garanta segurança e confiabilidade.

Em uma das opções, o encaixe por interferência é uma alternativa e tem como vantagens uma melhor fixação, evitando deslocamentos laterais e vibrações, além de não possuir mais componentes que poderiam quebrar ou folgar com o passar do tempo. A desvantagem de utilizar esse método é a necessidade de utilizar prensas para realizar a montagem e desmontagem da sede. Outra opção, seria utilizar um pino prensado entre a sede e seu suporte para torná-la fixa. Esse método tem como vantagem a menor força aplicada para montar e desmontar a sede, diminuindo o tempo de manutenção. Mesmo com menor tempo, a utilização de um pino cria situações que inviabilizam sua aplicação, como: o pino irá precisar de uma prensa para ser encaixado; esse pino irá se desgastar a cada troca das sedes; a força aplicada a sede depois de encaixada será maior no local do pino possibilitando fraturas ou mascarando os resultados. Uma terceira solução prática que foi analisada foi a de fixar a sede através de parafusos. Em termos de praticidade seria a solução ideal, porém o risco do parafuso não suportar o impacto da válvula com a sede, criar folgas laterais, afrouxar dada a vibração, é grande, impossibilitando sua utilização. Por último, uma forma comum de fixação seria utilização de algum produto adesivo. Em termos práticos de montagem funcionaria bem, porém assim como utilização de parafusos possui desvantagens críticas: o material adesivo poderia degradar rapidamente com o ambiente em alta temperatura. Com base nas análises, a solução que apresentou maior confiabilidade foi utilizar o mesmo método dos motores comerciais e fixar a sede através de interferência.

Um outro exemplo, refere-se ao método de aquecimento. As 5 principais bancadas existentes que foram estudadas testam apenas uma válvula e uma sede por vez, já os dinamômetros testam a quantidade de válvulas baseado no modelo

do motor que é testado. Com base nessa questão e na eficiência do método de aquecimento, precisava ser definida a quantidade de câmaras de combustão da bancada. A primeira solução seria a mesma ideia das demais bancadas e utilizar apenas uma câmara para ensaiar uma válvula e sede por vez. A vantagem desse tipo de aplicação é o controle e custo, porém para grandes volumes de amostras o tempo para obtenção de resultados cresce muito, além disso, o fato de não possuir réplicas diminui a confiabilidade dos resultados. As alternativas de duas câmaras e quatro câmaras seguem o mesmo princípio, melhorando a eficiência na quantidade de amostras ensaiadas por vez e ainda torna possível a utilização de réplicas. Sua desvantagem surge com o aumento de custo, pois com mais câmaras maior seria o número de componentes necessários. A solução para diminuir custo e ainda assim ensaiar mais de uma válvula seria utilizar uma câmara apenas para todas as amostras. De fato essa alternativa diminui a quantidade de sistemas envolvidos, porém se não utilizar aquecedores individuais possivelmente as válvulas não seriam ensaiadas nas mesmas condições, diminuindo a confiabilidade dos testes. A maior parte das alternativas desse requisito pode ser aplicada no modelo final, mas a utilização de câmaras individuais torna a bancada mais robusta e flexível. Com quatro câmaras individuais é possível ensaiar todas as válvulas nas mesmas condições, como réplicas, ou ainda mesclar parâmetros entre câmaras e obter resultados comparativos dentro do mesmo ensaio.

A Tabela 3 apresenta a matriz de PUGH, construída como ferramenta de auxílio à tomada de decisão na seleção da melhor alternativa para a construção da bancada. No topo da tabela são apresentados os critérios de julgamento que foram utilizados para a avaliação das alternativas. O fator de ponderação foi definido a partir da primeira matriz do QFD. Nas colunas S1, S2, S3 e S4 estão as avaliações e no final da tabela é feito o cálculo, considerando a avaliação de cada função/ alternativa. A alternativa S3 foi a que apresentou melhor resultado, com pontuação ponderada de 97,9 pontos e foi utilizada para a construção da arquitetura do sistema. Esta alternativa mostra um balanço entre soluções específicas que precisam ser desenvolvidas e fabricadas com soluções de uso de sistemas disponíveis na instituição que apoiou este projeto. Numa análise complementar, verifica-se que a solução S4, obteve menor pontuação e priorizou soluções mais simples para a construção da bancada. As soluções S1 e S2 foram alternativas com uso de soluções mais complexas e difíceis de serem executadas.

Tabela 4 - Matriz de PUGH

Funções		Critérios:		Avaliação das Alternativas			
		0 - Desempenho INSATISFATÓRIO; 1 - Desempenho REGULAR; 2 - Desempenho BOM; 3 - Desempenho MUITO BOM; 4 - Desempenho ÓTIMO		A1	A2	A3	A4
		PESO DE IMPORTÂNCIA DAS NECESSIDADES DO CLIENTE					
Posicionamento das sedes e válvulas	Montagem das válvulas	1,04		1	1	3	3
	Montagem das sedes	1,04		2	2	3	3
	Desalinhamento da sede	1,04		3	3	3	1
Função Estrutural	Suporte das válvulas	0,89		4	4	4	4
	Suporte estrutural das sedes	0,89		2	3	3	1
	Suporte à carga aplicada	0,89		4	4	3	2
	Câmara	1,57		2	3	4	3
	Material da câmara	1,46		4	4	3	3
	Visor	0,82		3	3	2	2
Aquecimento Refrigeração	Controle de fluxo de GLP	1,15		2	2	3	3
	Controle de Fluxo de ar	1,15		2	2	3	3
	Mistura de gases	1,03		3	3	4	3
	Queima de gases	1,28		3	4	3	3
	Exaustão de gases	1,19		2	2	4	2
	Arrefecimento	1,08		2	3	2	1
	Trocadores de Calor	0,86		3	3	3	1
	Medição de temperatura	0,85		3	3	4	4
	Controle de vazão	0,92		3	3	2	2
	Isolamento térmico	0,82		3	2	4	2
Aquecedor	0,97		2	3	3	2	
Automação e Instrumentação	Medição de temp.	0,89		3	3	4	4
	Controle de carga	1,59		4	4	4	4
	Controle de frequência	1,41		4	4	4	4
	Medição de carga	1,14		4	4	4	4
Carregamento dinâmico	Tipo de atuador	1,04		4	4	4	3
	Controle de frequência	0,99		4	4	4	4
	Medição de carga	0,35		4	4	4	4
Rotação de válvulas	Rotação de válvulas	0,34		3	3	3	2
	Forma de Aplicação	0,32		3	3	3	3
Soma da avaliação ponderada				85,6	90,6	97,9	81,4

A Figura 2 apresenta a arquitetura definida com base na alternativa S3, selecionada no âmbito da avaliação dos melhores conceitos para as funções requeridas para a bancada. O desenho é esquemático e contém as soluções que foram empregadas no projeto preliminar e detalhado da bancada. A bancada é apresentada em seus diferentes sistemas, subsistemas e componentes, como pode ser visto na Fig. 2, que apresenta a lista e breve descrição dos mesmos.

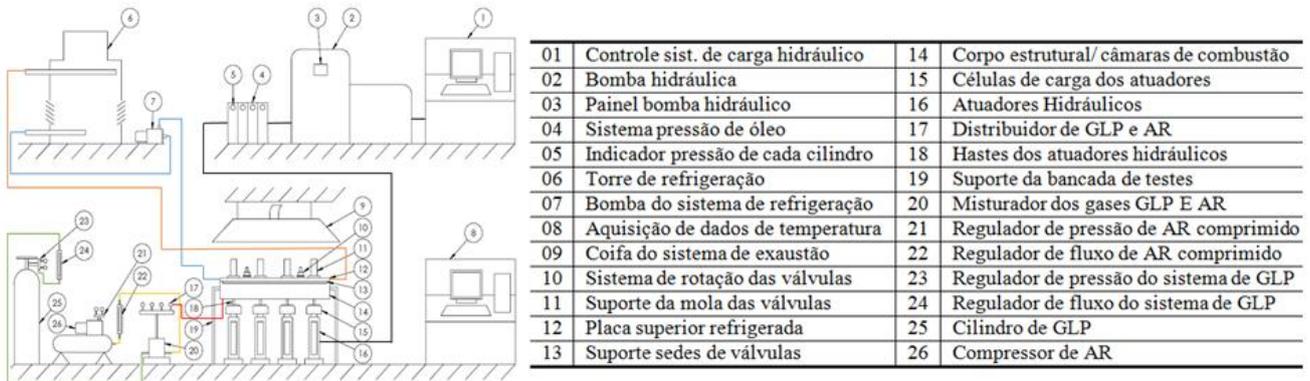


Figura 2 - Leiaute da solução conceitual global e descrição de sistemas, subsistemas e componentes.

A Figura 3a apresenta a configuração geral da bancada desenvolvida para testes de desgaste acelerado do par válvula e sede de válvula. A bancada é composta por 8 sistemas: 1 - suporte da válvula; 2 – pré-carga da válvula; 3 - sistema de arrefecimento; 4 – sistema de desalinhamento; 5 - sistema de aquecimento / câmara de combustão; 6 - sistema de carregamento; 7 - sistema de exaustão dos gases de queima e 8 - sistema de aquisição de dados. Os materiais utilizados foram: aço de carbono para a construção do bloco principal e das câmaras de combustão, *Nimonic* (liga de níquel para trabalhar a altas temperaturas) para as hastes de aplicação da carga e aço inoxidável AISI 310 para os outros componentes. Um dos componentes mais importantes é o bloco de combustão. Ele tem a função de conter o ambiente corrosivo da combustão e resistir a operação em alta temperatura. São 4 câmaras de combustão com capacidade para testar simultaneamente 1 par de componentes por câmara. Para executar um ciclo completo, um movimento de abertura é obtido a partir da pressão aplicada pela mola na haste da válvula e em seguida é aplicada uma pressão pelos atuadores hidráulicos na cabeça da válvula, para assim realizar o movimento de fechando das válvulas.

Para aquecimento utilizam-se 16 bicos queimadores, sendo 4 por câmara. A mistura é feita por meio de um dispositivo que além de tornar a mistura ar-GLP homogênea também distribui uniformemente a vazão para os bicos queimadores. O controle da vazão é feito por meio de válvulas agulhas e medidas através de rotâmetros. A centelha é dada através de eletrodos de ignição. O sistema de resfriamento pode ser observado nos tubos de inox da parte superior da bancada, Fig. 3b. O trocador de calor utilizado foi uma torre de resfriamento que usa o ar para trocar calor com o fluido (água). São utilizados dois sistemas de exaustão, um para retirada dos gases queimados por trás da válvula (semelhante aos motores) e outro que retira os gases excedentes através de uma coifa na parte superior da bancada. Para visualização da chama, cada câmara possui janelas com vidros de quartzo que suportam altas temperaturas. Para promover a rotação das válvulas foram utilizados dois motoredutores, uma para cada par de válvulas, sendo o movimento transmitido por correias. Aceleração do desgaste é obtida pelo desalinhamento da sede em relação à válvula, pela intensidade e frequência da carga aplicada durante o ensaio e pela temperatura de operação, nas quais os componentes estão expostos (Mascarenhas *et al.* 2014).

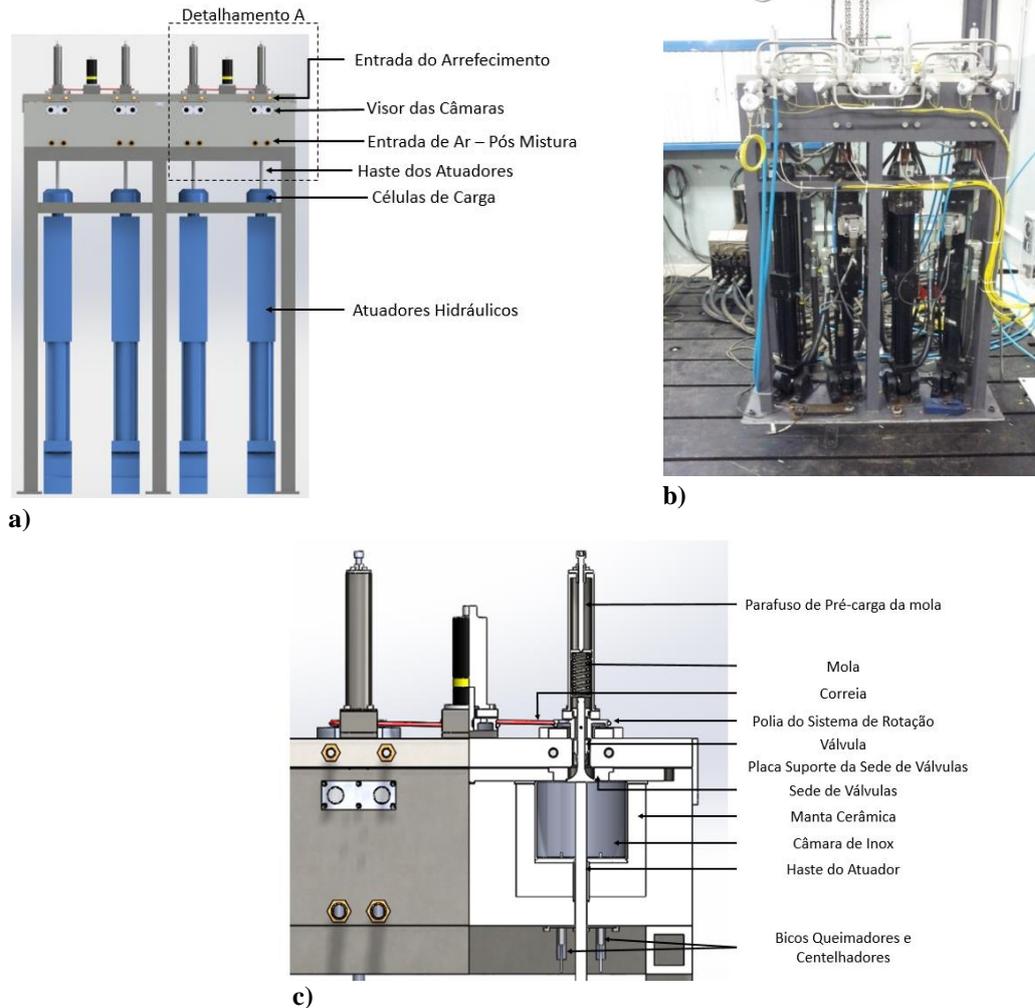


Figura 3 – Em a, visão geral da bancada, em b, foto real da bancada desenvolvida e em c –detalhe “A” da câmara de combustão.

4. CONCLUSÃO

A matriz morfológica foi fundamental para visualizar o melhor conceito para a construção da Bancada de Testes de Válvulas e sedes de válvulas. A Bancada consiste em um dispositivo mecânico capaz de simular condições de motores de combustão interna ciclo Otto e Diesel e assim testar válvulas e sedes de válvulas em sua geometria real, podendo ao final do ensaio inferir o desgaste superficial de ambos (Mascarenhas et al. 2014).

A matriz morfológica foi imprescindível na concepção da bancada de testes de válvulas e sedes de válvulas automotivas, pois a abertura dos princípios de solução de forma visual acelerou o processo de seleção de alternativas e permitiu um melhor desenvolvimento criativo para o projeto. Com a matriz foi possível analisar sistemas, subsistemas e componentes, compreender o refinamento dos dados obtidos no QFD, no qual são identificados e analisados aspectos críticos do produto relativos ao funcionamento, montagem, desempenho, qualidade, custos, uso, descarte e outros.

O projeto e a fabricação da bancada são também resultados efetivos deste trabalho e mostraram a importância e potencial do uso da matriz morfológica no processo de desenvolvimento de produto.

Pode-se destacar ainda a capacidade de produção científica que pode colaborar com as pesquisas na área de materiais para válvulas e sedes, uma vez que a bancada mostra-se capaz de realizar ensaios em condições adequadas para teste de materiais e componentes.

5. AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos ao SENAI CIMATEC, por apoiar financeiramente e tecnicamente o desenvolvimento do projeto que foi conduzido na modalidade de projeto plataforma e buscou a integração da área automotiva com várias áreas de competência do campus.

6. REFERÊNCIAS

- Bae, J.-I. & Bae, S.-C., 2006. A study on the Engine Downsizing Using Mechanical Supercharger. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19(C), p.2321~2329.
- BACK, N. OGLIARI, A. SILVA, J.C. da., DIAS, A. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Editora Manole. ISBN: 978-85-204-2208-3. 2008
- Chun, K.J. & Hong, J.S., 2005. Engine valve and seat insert wear depending on speed changes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 219(4), pp.525–534.
- Chun, K.J., Kim, J.H. & Hong, J.S., 2007. A study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers. *Wear*, 263(7-12), pp.1147–1157.
- Lewis, R. & Dwyer-Joyce, R.S., 2002. Wear of diesel engine inlet valves and seat inserts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 216(3), pp.205–216.
- SENAI. Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC (Salvador, BA). Luis Alberto Breda Mascarenhas; Jefferson de Oliveira Gomes; Celso Antonio Barbosa; Andrey Teixeira Portela; Leone Peter Correia da Silva Andrade. Bancada para ensaios acelerados de novos materiais para válvulas e sede de válvulas e métodos de análise. Nº BR 102014027581-9, 04 nov. 2014.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2005). *Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. Edgard Blucher.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., Amaral, D. C., Toledo, J. C. de, Silva, S. L. da, Alliprandini, D. H., & Scalice, R. K. (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência para a Melhoria do Processo*. Saraiva.
- Slatter, T., Taylor, H., Lewis, R., & King, P. (2009). The influence of laser hardening on wear in the valve and valve seat contact. *Wear*, 267(5-8), 797–806. <http://doi.org/10.1016/j.wear.2009.01.040>
- Wang, Y. S., Narasimhan, S., Larson, J. M., Larson, J. E., & Barber, G. C. (1996). The effect of operating conditions on heavy duty engine valve seat wear. *Wear*, 201, 15–25.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

MORPHOLOGICAL MATRIX USED FOR DEVELOPMENT OF VALVES AND VALVE SEATS TEST WORKBENCH

Luis Alberto Breda Mascarenhas, breda@fieb.org.br¹
Jefferson de Oliveira Gomes, gomes@ita.br²
Andrey Teixeira Portela, andrey.portela@fieb.org.br¹
Cristiano Vasconcellos Ferreira, cristiano.v.ferreira@ufsc.br³
Lilian Lefol Nani Guarieiro, lilian.guarieiro@fieb.org.br¹

¹SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã. Cep. 41.650-010. Salvador. Bahia

²ITA/CCM, Praça Marechal Eduardo Gomes, nº 50 - Vila das Acácias. CEP 12.228-970 - São José dos Campos, SP

³UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joiville, SC, Brazil

Abstract: *This paper presents the development of a morphological matrix, applied in the development of a testing workbench for test automotive valves and seat valves. The morphological matrix supported the product development process in the translation of the technical requirements of the stakeholders in partial functions and principles of solution based on the study of 5 similar workbenches. Is also presented analysis of the requirements for the bench can support the development of new materials for valves and valve seats. The valve and valve seat together perform the function of ensuring the entry of air and combustible material, the output of combustion gases and the sealing function during the compression and combustion processes. The valve is the most demanding component in high efficiency engines. To ensure the rigor of operation while providing clean burning and low emissions, the application of special materials is necessary. The extremely high temperatures of the exhaust gases, the velocities of valves and the high operating pressure are only some of the parameters that cause wear on valves. The materials used in valve production must be characterized by good manufacturability, low wear, high mechanical strength, and fatigue and corrosion resistance at high temperatures.*

Keywords: *morphological matrix; test workbench; wear tests; automotive valves and seat valves; high temperature.*