

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE COURO PARA O SETOR AUTOMOTIVO COM FOCO NA MELHORIA DA QUALIDADE DOS PRODUTOS

Eduardo Alves Pereira (PUCPR) eduardo.alves@pucpr.br
Eduardo Welter Giraldes (PUCPR) giraldesew@icloud.com

Resumo

O artigo trata da análise dos principais parâmetros do processo de perfuração de couro para a indústria automotiva de modo a evidenciar a relevância dos fatores de variabilidade para a qualidade do processo. Para este estudo foi aplicada a análise de experimentos ou DOE (Design of Experiments) em uma empresa multinacional que tem como meta o cumprimento das normas e sistemas da qualidade. A pesquisa é um estudo de caso de natureza exploratória que se utiliza de dados quantitativos para ampliar os conhecimentos acerca do processo de maior relevância, de acordo com os índices da qualidade da empresa. Tal estudo foi executado visando melhorar o embasamento para o processo decisório em relação às ações corretivas tomadas, evitando a tentativa e erro. Ao final do artigo, os resultados dos experimentos permitirão identificar o fator, e seu nível correspondente, considerado o mais relevante para a qualidade e uniformidade dos itens produzidos.

Palavras-Chaves: Beneficiamento de couro, Inspeção da Qualidade, Planejamento de experimentos, DOE.

1. Introdução

As empresas do ramo automotivo vêm ao longo dos anos sendo cada vez mais exigidas por normas e sistemas de qualidade por parte das principais montadoras de veículos ao redor do mundo. Estas montadoras criaram normas específicas para a qualificação de seus fornecedores, passíveis de auditorias periódicas para a certificação das empresas envolvidas na cadeia de abastecimento, que na maioria dos casos é compulsória para que a empresa faça parte deste elo produtivo.

Além da exigência primária de certificação para a atuação no ramo, destacando-se a norma International Organization for Standardization (ISO) TS 16949, as grandes montadoras optam por fornecedores com maior credibilidade no mercado, que satisfaçam suas necessidades de suprimento, atendendo a prazos e fornecendo produtos de qualidade ao sistema produtivo.

Do ponto de vista mercadológico, e numa lógica competitiva, as empresas têm como objetivo potencializar a satisfação de seus clientes e outros grupos de interesse de forma mais eficiente e eficaz quando comparados com seus concorrentes (CORRÊA; CORRÊA, 2006).

Como um apoio para uma das possíveis tomadas de decisão em tratativa do problema, esta pesquisa irá apresentar um estudo de um processo de beneficiamento de couro, objetivando compreender a relevância dos fatores de variabilidade e suas respectivas combinações para com a qualidade dos itens produzidos, utilizando para isto o DOE (Design of Experiments), as ferramentas da qualidade e a metodologias de melhoria contínua.

2. Referencial Teórico

2.1. Qualidade

Segundo Fernandes (2011), a qualidade sempre esteve presente na vida do homem, associada primeiramente às questões de sobrevivência, no desenvolvimento de armas, ferramentas, técnicas de caça, afazeres diários, entre outros. Neste momento histórico o termo qualidade ainda não existia, porém o conceito sim. Os principais autores a respeito da Gestão da Qualidade vêm ao longo dos anos formalizando seus modelos e táticas para implementação de um modelo de qualidade.

Em 1987, visando facilitar o comércio internacional, um comitê com o objetivo de unificar os sistemas da qualidade foi formado para a concepção de uma norma que se chamaria ISO 9000. Ela refere-se aos requisitos de sistema da qualidade, através de um processo sistêmico com foco em atender as expectativas e necessidades dos clientes (FERNANDES, 2011).

A NBR ISO TS 16949 é a norma regulamentadora do sistema de qualidade da indústria automotiva global. Para Arnosti (2013), o objetivo principal da norma é o desenvolvimento de um sistema global gerencial para a cadeia de suprimento da indústria automobilística, reduzindo desperdícios por meio de especificações e requerimentos da qualidade.

As primeiras vantagens encontradas com a aplicação das especificações técnicas ISO TS foram a eliminação da necessidade de múltiplas auditorias e uma padronização do formato do sistema da qualidade, focando os esforços na prevenção de defeitos (ARNOSTI, 2013).

2.2. Planejamento de experimentos (DOE)

O Planejamento de experimentos, do inglês Design of Experiments (DOE) é uma técnica utilizada para planejar experimentos, ou seja, definir dados e variabilidades envolvidas em um sistema, e fazer combinações entre elas de modo a identificar os pontos de maior relevância envolvidos no processo, podendo modifica-los em busca de uma melhora do processo (MONTGOMERY, 2005).

O processo pode ser visualizado com uma combinação de inúmeras variáveis, como máquinas, parâmetros de máquina, operadores, métodos, material, entre outros. Segundo Montgomery (2005) são feitas alterações propositais nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo que possibilite a avaliação das possíveis alterações sofridas pela variável resposta e também as razões causadas por essas alterações.

Segundo Rodrigues e Iemma (2005) uma das vantagens do Planejamento de Experimentos é que reduz o número de experiências ou repetições e melhora a qualidade da informação obtida através dos resultados. Isto significa uma sensível diminuição do trabalho e, conseqüentemente, do tempo e do custo final.

O Experimentos Fatoriais são eventos planejados que permitem o estudo do efeito de dois ou mais tipos de tratamento sobre uma variável resposta. Tal modelo de experimento pode ser aplicado quando se pretende estudar a interação de maneira simultânea entre vários fatores de variabilidade envolvidos em um sistema. Os experimentos fatoriais são a única maneira de descobrir a real interação entre as variáveis (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Segundo Mattos et al. (2004), a aplicação dos projetos fatoriais é uma maneira eficiente de combinar os fatores, pois os níveis dos fatores são cruzados tornando possível uma análise da relevância destas combinações frente a uma variável resposta.

O projeto fatorial do tipo 2^k trata-se de um projeto de K fatores onde são ensaiados apenas 2 (dois) níveis para cada fator de variabilidade. Recomenda-se este tipo de projeto quando a quantidade de fatores for elevada, pois exigem um número relativamente pequeno de ensaios (MATTOS et al. 2004).

Em casos que envolvam muitos fatores, mesmo com a utilização de apenas dois níveis para o estudo da interação, o número de ensaios pode se apresentar muito grande, sendo recomendando neste caso um projeto de planejamento fatorial fracionado, ou 2^{k-p} , onde k representa o número de fatores e o p o número do fracionamento. O intuito deste tipo de planejamento é se fazer uma triagem dos fatores que se apresentem mais relevantes,

analisando seus efeitos principais frente uma variável resposta, como embasamento a ser utilizado para possíveis estudos posteriores (MATTOS et al. 2004).

3. Procedimentos metodológicos

Para que o experimento fosse executado de acordo com as recomendações de Montgomery (2005) para a utilização da ferramenta DOE, o procedimento experimental foi conduzido de acordo com as etapas apresentadas a seguir.

- Identificação e análise do problema;
- Escolha dos fatores e seus níveis;
- Planejamento experimental;
- Realização do experimento;
- Análise de resultados.

Este experimento planejado teve como suporte um procedimento de método estatístico, produzindo resultados de análise quantitativos, em busca de um menor grau de incertezas e uma maior probabilidade de acertos ao se determinar uma conclusão. A saída das informações foram através do pacote computacional MiniTab 17, demonstrando a análise da significância dos fatores e de suas respectivas interações. A resposta do software será apresentada através de recursos numéricos e gráficos, de modo a facilitar à análise e compreensão do processo.

4. Coleta e análise de dados

A coleta e análise dos dados ocorreu através da experiência do pessoal envolvido no processo, através de brainstormings para compartilhar informações e trocar experiências. Foram feitas reuniões com os envolvidos no processo onde foram convocados colaboradores com diferentes capacitações e posições hierárquicas ocupadas, visando o olhar colaborativo de diferentes perspectivas dentro da empresa, possibilitando uma análise do cenário tema de estudo por completo.

4.1. Identificação e análise do problema

O processo objeto de estudo, denominado internamente como secundário, tem como produto final peças de couro perfuradas para o banco dos carros, que devem estar de acordo com os

padrões estabelecidos pelos clientes de modo a atender as especificações acordadas durante a negociação do projeto.

As peças perfuradas não estão contidas em todos os projetos da empresa, porém, quando presentes, o processo para a obtenção das mesmas é subsequente ao processo de corte, ou seja, as peças a serem perfuradas já apresentam o formato do produto final antes do beneficiamento da mesma no processo secundário.

Para a obtenção de peças perfuradas o processo atual consiste em três fases que serão apresentadas a seguir:

- Remoção de irregularidades do couro: A máquina utilizada para esta fase é denominada Skiver. Por se tratar de um produto natural, o couro possui inúmeras irregularidades, principalmente os fatores espessura e pilosidade (pelos finos) no carnal (camada interna) do couro. As características do couro antes e depois da remoção das irregularidades é feita através de uma lamina rotativa, na parte interna da máquina, que retira parte do material da pilosidade das peças, estabelecendo-se uma única espessura ao longo de toda a extensão do corpo do item. Portanto esta primeira operação do processo secundário tem como objetivo a maior uniformidade possível das peças como preparação para as próximas operações;
- Cobertura do carnal: é a segunda fase do processo secundário, e consiste na operação de colagem da pilosidade remanescente no lado carnal do couro, visando ainda maior uniformidade das peças para a operação subsequente. Nesta fase, primeiramente a peça é processada em uma máquina denominada Flesh Coat, que tem por objetivo a aplicação de uma cola específica no lado carnal do couro, através de uma régua de armazenamento de cola e um rolo de alimentação, em seguida a peça é encaminhada automaticamente através de uma esteira rolante para um forno de secagem, que retira a umidade das peças a ponto de que estas possam ser empilhadas e encaminhadas para a última fase do processo;
- Perfuração: Última operação do processo secundário, consiste no processo no qual as peças são perfuradas. O processo é iniciado através de uma esteira de papel que alimenta a máquina, conduzindo as peças para um cabeçote contendo placas e agulhas, que atuam como faca e contra faca, pois nesta etapa o couro não é apenas furado, parte do material é removido da peça de modo a obter-se um produto vazado, ou seja, que possibilite e facilite a passagem de ar entre um lado e outro da peça. A máquina responsável por esta fase é denominada perfuratriz.

Ao fim de cada uma das operações as peças processadas passam por uma fase intermediária, que é a de inspeção de processo, minimizando qualquer probabilidade do processamento de

itens defeituosos na fase subsequente, também permitindo que a análise dos indicadores de qualidade seja feita separadamente para cada uma das operações.

Os dados históricos de defeitos das peças, durante um período de seis meses, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de defeitos processo secundário

	SKIVER			FLESH COAT			PERFURATRIZ		
	Peças Produzidas	Peças Defeituosas	PPM	Peças Produzidas	Peças Defeituosas	PPM	Peças Produzidas	Peças Defeituosas	PPM
Março/2016	34577	23	665	19358	5	258	22359	47	2102
Abril/2016	39721	32	806	22142	3	135	35158	50	1422
Maió/2016	73582	47	639	47678	3	63	65873	101	1533
Junho/2016	64586	46	712	46312	8	173	62656	70	1117
Julho/2016	67298	33	490	66519	11	165	77683	180	2317
Agosto/2016	76774	29	378	63842	2	31	76816	52	677
Acumulado	356538	210	589	265851	32	120	340545	500	1468

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Em todos os meses retratados na Tabela, a operação de perfuração apresentaram valores superiores as outras duas operações, demonstrando que esta é a operação que apresenta maior relevância, por obter um pior desempenho, para a qualidade dos itens beneficiados no processo secundário.

Sendo assim, entende-se que com um maior enfoque no estudo dos fatores de variabilidade da operação de perfuração, será possível identificar as variáveis de maior influência para com a qualidade dos itens produzidos frente às 3 (três) operações do processo secundário.

4.2. Escolha dos fatores e seus níveis

Para a escolha dos fatores e níveis do planejamento experimental, uma reunião foi feita com uma equipe multifuncional envolvida no processo de perfuração, em busca das variáveis que apresentem maior interferência no processo. Foi utilizado o diagrama de Causa e Efeito, proposto por Ishikawa como uma forma de ilustrar e discutir os principais pontos.

Dentre os fatores apontados, com base no conhecimento do processo e nos dados históricos de defeitos de perfuração, definiu-se que os fatores de controle do processo que mais afetam a

qualidade do produto para o maior alcance de defeitos são: velocidade da esteira de papel, tamanho das agulhas, espessura das placas, pressão do cabeçote e durabilidade do jogo (placas + agulhas) até a retífica.

Foi feita a escolha de cinco entre fatores possíveis de serem analisados no início ao experimento, pois segundo Montgomery e Runger (2009) com esta resolução os efeitos principais ou interações não são confundidos, evitando algum possível tipo de equívoco durante a análise dos efeitos dos fatores.

Durante a operação de perfuração, para os 5 (cinco) fatores de variabilidade escolhidos, existe a possibilidade da ocorrência de 5 (cinco) tipos diferentes de defeitos, os quais serão ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Defeitos do processo de perfuração

Dupla perfuração- defeito de simetria por irregularidade entre as linhas de perfuração, onde a peça pode apresentar um ou mais espaçamentos entre as linhas de perfuração, menores do que os demais, ou até mesmo linhas de perfuração sobrepostas.
Perfuração obstruída - Quando a faca e a contra faca das placas e a agulhas não efetuam o corte por completo do couro as perfurações podem apresentar obstrução, ou seja, obstrução no espaço que deveria ser vazado.
Salto na perfuração – defeito de simetria por irregularidade entre as linhas de perfuração, onde a peça pode apresentar um ou mais espaçamentos entre as linhas de perfuração maiores do que os demais.
Alinhamento furo punção - defeito de simetria por irregularidade entre as linhas de perfuração, onde há deslocamento lateral da peça durante o processo, causando desalinhamento no sequenciamento dos furos.
Fibras na perfuração – defeito ocorrido quando as agulhas de perfuração, após o processo, puxam a pilosidade do couro do lado carnal para o lado acabado.

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Os tipos de defeitos detalhados e suas respectivas quantidades geradas durante o processo de perfuração ao longo de 6 (seis) meses, entre Março e Agosto de 2016, estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 - Histórico de defeitos da perfuratriz – seis meses

	Dupla Perfuração	Perfuração Obstruída	Saltos na Perfuração	Alinhamento Furo Puncção	Fibras na Perfuração	Total Defeitos	Peças Produzidas	PPM
Março/2016	20	14	12	1	0	47	22359	2102
Abril/2016	25	16	5	3	1	50	35158	1422
Maió/2016	79	9	8	3	2	101	65873	1533
Junho/2016	39	14	17	0	0	70	62656	1117
Julho/2016	118	28	32	0	2	180	77683	2317
Agosto/2016	15	15	21	0	1	52	76816	676
Acumulado	296	96	95	7	6	500	340545	9169

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Pode-se observar que o defeito que apresenta números mais significativos para a produção de itens defeituosos na operação de perfuração é o defeito dupla perfuração, seguido pelos defeitos perfuração obstruída e saltos na perfuração que apresentam números menores, porém expressivos, principalmente quando estão relacionados com a produção de desperdícios para a empresa.

Para dar continuidade ao experimento, foi a análise dos níveis dos fatores escolhidos para estudo, para que pudessem ser escolhidos os níveis que seriam combinados na análise experimental, conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de variabilidade e níveis

Parâmetros do processo	Nível Mínimo	Nível Máximo	Unidade
Velocidade da esteira de papel	7	9	m/min
Tamanho das agulhas	45	50	Mm
Espessura das placas	3,8	5,1	Mm
Pressão do cabeçote	90	110	Ton
Durabilidade do jogo de placas e agulhas até a retifica	100	190	Ciclos (x1000)

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Os valores dos limites máximos e mínimos de regulação podem ser denominados como críticos, pois se tratam dos extremos de aceitação para o processo.

Como maneira de atribuir as características de aprovação ou reprovação dos ensaios executados nos experimentos foi aplicada uma sistemática de somatória da quantidade de defeitos para cada ensaio, de forma que o resultado encontrado consiste no valor da variável resposta. Quando houver a presença do defeito no item, aquele critério de avaliação receberá

o valor 1 (um), indicando o defeito, já para as peças conformes, ou seja, sem defeitos o item receberá o valor 0 (zero). A somatória dos valores dos ensaios define a variável resposta, assim como exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Variável resposta

Ensaio	Dupla Perfuração	Perfuração Obstruída	Saltos na Perfuração	Alinhamento Furo Punção	Fibras na Perfuração	Variável Resposta
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1
3	1	1	0	0	0	2
4	1	1	1	0	0	3
5	1	1	1	1	0	4
6	1	1	1	1	1	5

Fonte: OS AUTORES, 2016.

A tabela tem o objetivo de ilustrar a possibilidade da variável resposta apresentar valores que variam de 0 (zero), representando a ausência completa de defeitos, ou seja, total aprovação, até 5 (cinco) representando a presença de todos os defeitos em um único ensaio, consequentemente a reprovação em todos os critérios avaliados durante a fabricação.

4.3. Planejamento experimental

Com o objetivo de aprofundar a pesquisa e analisar os fatores considerados com maiores efeitos em relação a variável resposta, na primeira fase da pesquisa será utilizado um experimento fatorial fracionário de meia-fração 2^{k-1} .

Esta fase foi denominada por Montgomery e Runger (2009) de exploratória, pois os fatores negligenciáveis serão eliminados permitindo maior aprofundamento nas variáveis de maior relevância. Esta escolha segundo os autores, não causam perdas de qualidade e relevância do processo experimental e sim trazem um enfoque principal às variáveis mais significativas do experimento em relação à variável resposta, cumprindo com o intuito desta fase.

Objetivando maior consistência para a conclusão da pesquisa, após análise dos dados do experimento fatorial fracionado, optou-se pela aplicação de um novo experimento, que utilizou os dados oriundos da saída do experimento fatorial de meia fração como entrada para este. Nesta etapa da pesquisa foi utilizado o experimento fatorial completo 2^k , onde todos os níveis possíveis para os fatores oriundos da primeira fase foram combinados.

5. Realização dos experimentos

5.1. Realização do experimento fatorial fracionado

Na realização do experimento fatorial fracionado foram realizados 2^{5-1} ensaios. Os valores estão apresentados na Tabela 5 que foi elaborada com a utilização do software MiniTab 17.

Tabela 5 - Matriz experimental – Fatorial fracionado 2^{5-1}

Ensaio	Velocidade da esteira de papel (m/min)	Tamanho das agulhas (mm)	Espessura das placas (mm)	Pressão do cabeçote (Ton)	Durabilidade do jogo de placas e agulhas até a retifica (ciclos x1000)
1	7	50	5,1	90	190
2	9	50	5,1	110	190
3	9	50	3,8	90	100
4	7	45	5,1	110	190
5	9	50	5,1	110	100
6	9	45	3,8	110	190
7	9	50	3,8	110	100
8	7	50	5,1	110	100
9	7	50	3,8	110	100
10	9	45	3,8	90	100
11	7	45	3,8	90	190
12	9	45	5,1	90	190
13	9	50	5,1	90	100
14	7	45	5,1	90	190
15	7	45	3,8	110	190
16	7	45	3,8	90	100

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Após cada uma das parametrizações da Tabela, as peças foram verificadas em diferentes ângulos e em ambos os lados (carnal e acabado) sobre uma mesa de luz, facilitando a identificação de qualquer que seja o defeito, tanto de furos obstruídos quanto de desalinhamento das linhas de perfuração.

Os resultados encontrados para os ajustes estabelecidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios – Fatorial fracionado

Ensaio	Dupla Perfuração	Perfuração Obstruída	Saltos na Perfuração	Alinhamento Furo Punção	Fibras na Perfuração	Variável Resposta
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	0	0	2
4	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	1
10	1	1	0	0	0	2
11	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	1

Fonte: OS AUTORES, 2016.

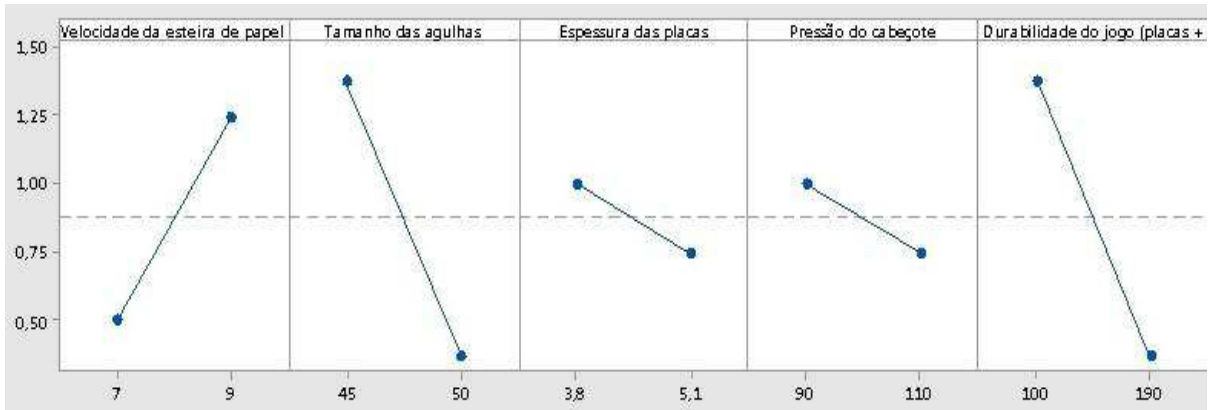
Como o resultado esperado para aprovação total de cada ensaio seria o valor 0 (zero) na variável resposta, constatou-se êxito em 10 (dez) das 16 (dezesesseis) combinações propostas. Dentre os 6 (seis) ensaios que apresentaram resultados de reprovação das peças analisadas, apenas 2 (dois) apresentaram mais do que 1 (um) defeito e 4 (quatro) deles continham apenas 1 (um) dos defeitos possíveis.

5.2. Análise de resultados experimento fatorial fracionado

Os resultados obtidos para o experimento fatorial fracionado proposto serão analisados através de gráficos de análise DOE, obtidos com o auxílio do software MiniTab 17.

No Gráfico 1, os efeitos principais são apresentados através de uma reta, onde as extremidades representam as médias de todos os ensaios de acordo com seu nível. Portanto, cada um dos fatores apresenta dois pontos de acordo com os seus níveis mínimo e máximo, onde a inclinação da reta apresenta o grau de diferença do fator para o experimento, quanto mais acentuada for a inclinação da reta maior será a diferença daquele fator para a variável resposta, em contrapartida, a reta tenderá a ser horizontal quando a diferença daquele fator for mínima ou nula em relação à variável resposta.

Gráfico 1 - Efeitos principais – experimento fatorial fracionado

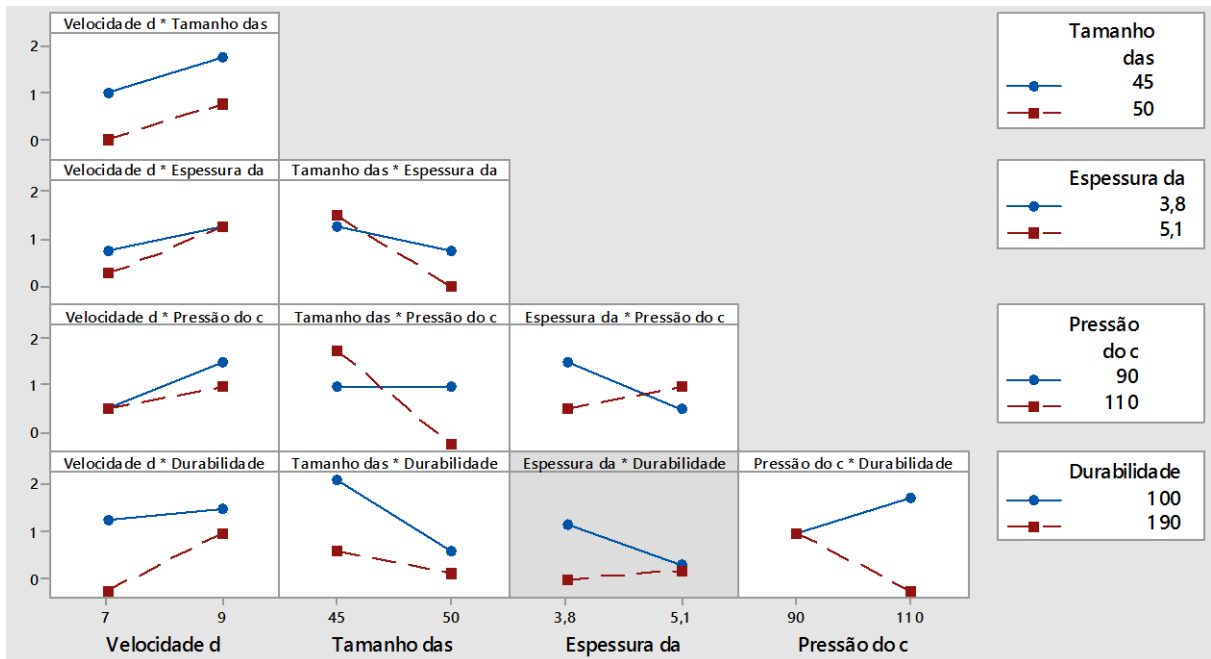


Fonte: OS AUTORES, 2016.

Os fatores velocidade da esteira de papel, tamanho das agulhas e durabilidade dos jogos foram os que apresentaram maior diferença frente variável resposta. As retas que representam estes fatores possuem maior inclinação do que as demais confirmando sua relevância.

A interação entre os fatores para o experimento fatorial fracionado está apresentada no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 - Interação dos fatores – experimento fatorial fracionado



Fonte: OS AUTORES, 2016.

De maneira a atingir um maior aprofundamento na pesquisa, após a análise feita com o experimento fatorial fracionado, optou-se pela realização de um experimento fatorial

completo com os fatores que apresentaram maior relevância para variável resposta no experimento fatorial fracionado. Dos 5 (cinco) fatores analisados no experimento fatorial anterior, 3 (três) deles foram selecionados para realização de um experimento fatorial completo por apresentarem maior relevância para a conformidade do ensaio. A partir deste critério, e de acordo com a análise anteriormente feita, os fatores selecionados para a próxima etapa são: Velocidade da esteira de papel, tamanho das agulhas e durabilidade do jogo (placas e agulhas).

5.3. Realização do experimento fatorial completo

Com o intuito de uma análise com maior profundidade a respeito da importância dos fatores para a variável resposta definida, os fatores que apresentaram maior relevância na fase anterior (experimento fatorial fracionado) foram combinados novamente em 23 ensaios, ou seja, todas as combinações possíveis para os fatores e os respectivos níveis foram feitas novamente no software MiniTab 17 para um experimento também fatorial, porém agora completo, e seguem representadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Matriz experimental – Fatorial completo 2^3

Ensaio	Velocidade da esteira de papel	Tamanho das agulhas	Durabilidade do jogo de placas e agulhas até a retifica
1	7	45	100
2	7	45	190
3	9	45	100
4	9	45	190
5	7	50	100
6	7	50	190
7	9	50	100
8	9	50	190

Fonte: OS AUTORES, 2016.

Os critérios de avaliação para os ensaios apresentados foram os mesmos da análise do experimento fatorial fracionado, ou seja, através da inspeção de 20 (vinte) itens para cada um dos ensaios, seguindo o processo de inspeção da empresa para análise dos itens perfurados. O resultado do experimento fatorial completo segue ilustrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios – Fatorial completo

Ensaio	Dupla Perfuração	Perfuração Obstruída	Saltos na Perfuração	Alinhamento Furo Punção	Fibras na Perfuração	Variável Resposta
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	1

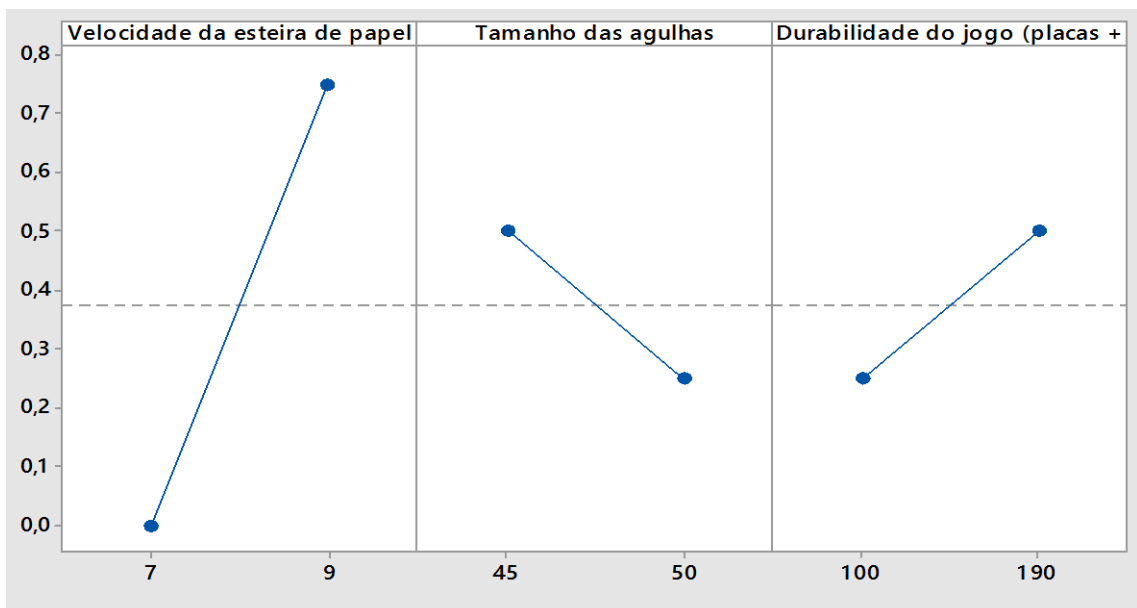
Fonte: OS AUTORES, 2016.

O resultado obtido para o experimento fatorial completo de acordo com as combinações dos fatores apresentados na Tabela 8, apresentou aprovação em 5 (cinco) dos 8 (oito) ensaios e reprovação em 3 (três) deles, onde apenas 1 (um) defeito foi observado para cada um dos ensaios reprovados.

5.4. Análise de resultados experimento fatorial completo

A apresentação gráfica para os efeitos principais em relação a variável resposta para o experimento fatorial completo estão apresentados no Gráfico 3, e foram obtidos com o auxílio do software MiniTab 17.

Gráfico 3 - Efeitos principais – experimento fatorial completo

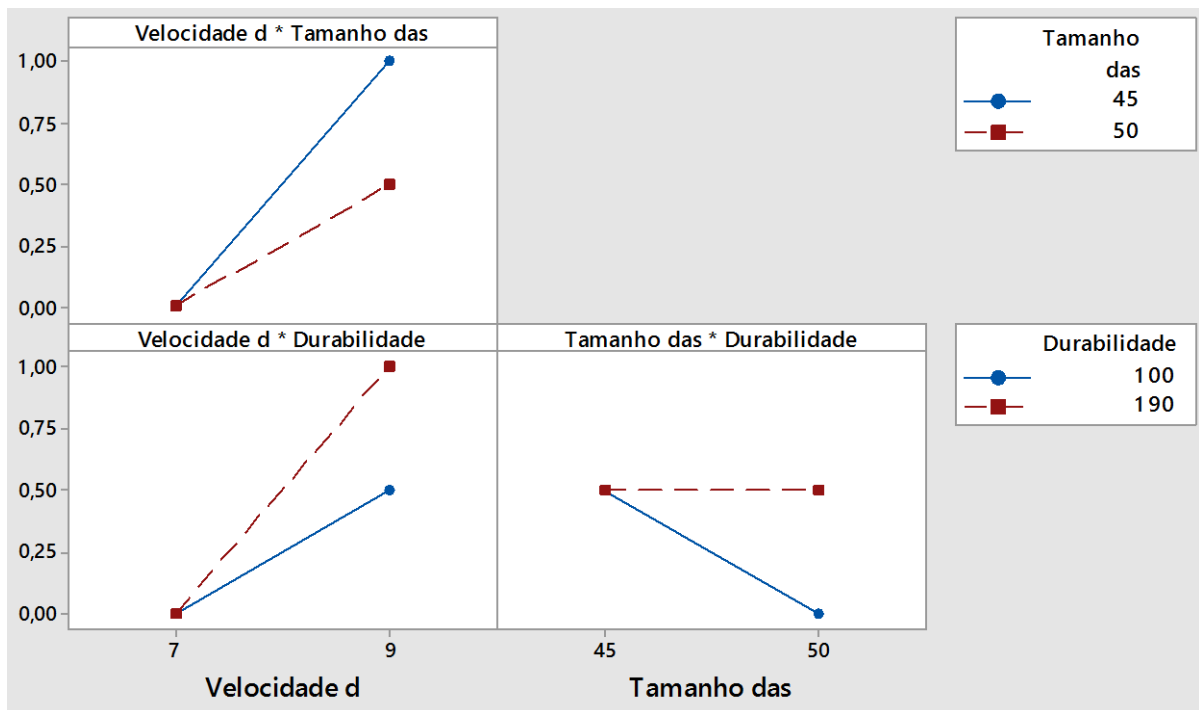


Fonte: OS AUTORES, 2016.

De acordo com o Gráfico 3, o tamanho das agulhas e a durabilidade do jogo (placas e agulhas) possuem menor diferença entre os valores mínimos e máximos, representados por uma reta com menor inclinação em comparação com o fator velocidade da esteira de papel. Portanto, o fator velocidade da esteira de papel de acordo com a análise gráfica demonstra um maior efeito para a variável resposta frente aos dois outros fatores analisados no experimento fatorial completo.

A interação entre os fatores para o experimento fatorial completo segue apresentada no Gráfico 4 a seguir.

Gráfico 4 - Interação dos fatores – experimento fatorial completo



Fonte: OS AUTORES, 2016.

A análise em conjunto entre o gráfico de efeitos principais (Gráfico 3) e o gráfico das interações (Gráfico 4) para o experimento fatorial completo revelam que além do fator velocidade da esteira de papel apresentar maior relevância para o processo de perfuração, ele apresenta valores mais satisfatórios, ou seja, variável resposta com o valor 0 (zero), conformidade total para o ensaio, quando o nível do fator combinado se encontrar no limite mínimo de operação, ou seja, quando a velocidade da esteira de papel encontrar-se no valor de 7 (sete) metros por minuto o processo apresenta melhor qualidade.

Portanto, o experimento fatorial completo concluiu que o fator mais significativo para a qualidade das peças produzidas é a velocidade da esteira de papel, e que a velocidade quando

se encontra no valor mínimo de operação apresenta redução na quantidade de itens não-conformes produzidos. Por outro lado, os fatores tamanho das agulhas e durabilidade do jogo não podem ser considerados insignificantes, pois mesmo que com menor intensidade apresentam relevância em relação ao seu efeito para a variável resposta, e também interação com os outros fatores.

6. Considerações finais

A completa análise dos experimentos podem ser utilizados como base para uma possível automação do processo ou principalmente como embasamento para implementação de uma ferramenta de controle na operação de perfuração, visando controlar com maior rigorosidade aquela variável encontrada através dos experimentos que apresenta maior relevância.

Através dessa abordagem pode-se melhorar a qualidade dos itens produzidos e reduzir significativamente as variabilidades indesejadas no processo, mantendo os níveis do fator da velocidade, o fator considerado mais relevante, em uma faixa de operação que reduza a quantidade de itens não conformes produzidos, que como demonstrados neste artigo, trata-se dos limites mínimos de velocidade da esteira de papel.

Portanto, o principal objetivo do artigo foi atingido através do estudo de um dos processos de beneficiamento de couro na indústria automotiva, onde os esforços foram focados em compreender seus fatores de variabilidade, obtendo um embasamento consistente para uma possível ação de melhoria eficiente para a qualidade de processo.

REFERÊNCIAS

ARNOSTI, J. C. M; NEUMANN, R. A; COUTO, M. N; LUGOBONI, L. F. ISO/ TS 16949 – Ganhos e Vantagens da Certificação na Indústria Automobilística. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, 2013. Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_178_016_23281.pdf

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. Administração de produção e operações. São Paulo: Ed. Atlas AS, 2006.

FERNANDES, W. A. O Movimento da Qualidade no Brasil. INMETRO, São Paulo, 2011.

ISO TS 16949 –Quality System Automotive suppliers – Particular Requirements for application of ISO9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. International Organization for Standardization, USA, 2004.

MATTOS, Viviane L. D.; BARBETTA, Pedro A.; SAMOHYL, Robert W. Identificação de efeitos de dispersão em experimentos fatoriais 2k e 2k-p. Revista Produção, vol. 14 (no 2), p.36-46, 2004. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132004000200004

MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 6 ed, John Wiley & Sons, 2005.

MONTGOMERY, D. C. RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

RODRIGUES, M. I; IEMMA, A. F. Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: Uma Estratégia Sequencial de Planejamentos. Campinas: Editora Casa do Pão, 2005.