

ESTUDO DA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ESPUMA

Luís Eduardo de Oliveira Linares

Olivia Toshie Oiko

Resumo

Na produção da espuma, esta cresce e sofre um encolhimento antes de atingir o tamanho final. Ao final, as extremidades dos blocos de espuma apresentam uma pele grossa, o “cascão” que não apresenta as mesmas propriedades do resto do bloco e que costuma ser retirada, na fábrica em que se desenvolveu este trabalho. Por isto, é prevista uma margem de folga em relação às dimensões finais pretendidas, que, em muitos casos, é excessiva, gerando grande quantidade de material removido. Visando minimizar os desperdícios decorrentes da margem de folga, este trabalho coletou e analisou dados da produção dos blocos e geração dos cascões, buscando identificar padrões de correlação com os fatores de produção. Como resultado, observou-se que há situações em que essas margens de folga são utilizadas, e a sua redução acarretaria em produtos fora de especificação, o que não reduziria o desperdício. A partir dos dados de produção existentes não foi possível identificar um padrão de tipo de espuma ou situação em que haja maior desperdício. Também foram realizados experimentos em laboratório, para conhecer a influência de alguns fatores no encolhimento. Estes experimentos foram definidos utilizando a técnica de planejamento de experimentos (Design of Experiments -, DOE) do tipo fatorial 2^K . Foram testados 3 fatores em dois níveis, se caracterizando como um experimento fatorial 2^3 . Os resultados quantitativos não foram conclusivos, porém foram suficientes para obter um consenso da necessidade de padronização de alguns fatores de produção, e também sobre a importância de outros estudos sistemáticos para facilitar a produção de itens com a qualidade desejada.

Palavras-chave: *Processo de espumação, Fabricação de espuma, Ferramentas da Qualidade, Planejamento de Experimentos, Design of Experiments, Planejamento Fatorial 2^K*

1. Introdução

Neste estudo, a empresa é uma indústria de colchões, localizada na cidade de Maringá-PR, que possui o seu próprio laboratório e setor de espumação, ou seja, produz espuma para os seus produtos (produção interna). A empresa também vende blocos retangulares de espuma para clientes externos. Os clientes externos são indústrias que compram espumas para a criação de seus produtos, como por exemplo, indústria moveleiras, confecções, colchões, entre outras. Os clientes internos, são os próprios setores da indústria estudada. O foco de estudo será o setor

de espumação, responsável pela criação de blocos de espumas e o setor de corte externo, responsável pela realização do corte da espuma destinada aos clientes externos de acordo com as medidas solicitadas por eles.

Durante a produção a espuma cresce em formato retangular, deixando uma pele grossa existente em todas as laterais da espuma. Essa pele denominada de “cascão”, não possui as propriedades e qualidades ideais apresentada no resto bloco de espuma, sendo, portanto, necessário retirá-la para ser entregue ao cliente. Além de ser necessário retirar esse cascão, a espuma sofre um encolhimento durante o processo de produção. Para a produção do bloco de espuma é levado em consideração uma folga nas dimensões do bloco (fabricação em dimensões acima do necessário), considerando desde já o encolhimento e a remoção do cascão. No momento do corte e remoção do cascão, tem se observado uma folga excessiva, assim apresentando desperdício. Deste modo este trabalho tem por objetivo, realizar um estudo exploratório, para compreender o comportamento de encolhimento durante o processo de produção, cura e remoção dos cascões durante o corte da mesma.

Para se alcançar este objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo de levantamento de dados (espessuras de cascões durante o corte), compreendendo espessura, largura e altura dos cascões retirados durante o corte.
- Identificar e analisar fatores internos e externos que agem sobre o encolhimento do bloco durante a produção.
- Realizar estudos de correlações referente aos fatores internos e externos na produção de espuma.
- Propor soluções para os desperdícios de espuma, por meio de reduções nas medidas de espumas, e alterações nos padrões de medidas existentes.

Nas próximas seções, serão abordados conceitos sobre a espuma poliuretana e seu processo de fabricação, seguidos por ferramentas gerais da qualidade e, mais especificamente, técnicas de planejamento e análise de experimentos. No tópico 5, é apresentado o método do trabalho, baseado no método de planejamento de experimentos. O tópico 6 traz o desenvolvimento das análises, partindo da descrição do processo e das coletas de dado. O tópico 7 apresenta considerações finais (conclusão) resume os principais resultados, as limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2. Espuma e seu processo de fabricação

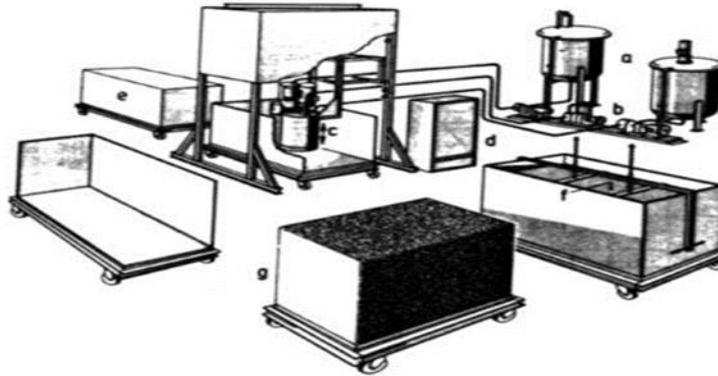
O desenvolvimento comercial da espuma poliuretana se deu em 1930 primeiramente com as espumas rígidas e somente em 1940 se deu o início a comercialização das espumas flexíveis. O mercado de espumas poliuretanas iniciadas nos anos 1930, teve um crescimento de 10 milhões de toneladas em 2000, para um consumo mundial da ordem de 13,6 milhões de toneladas em 2005, e de 16 milhões de toneladas, em 2010, (VILAR,1999). Sobre a evolução do poliuretano no mundo, tem-se que a partir de 1957, as empresas marcaram o início de pesquisas e resultados mais aprofundados acerca do poliuretano, utilizando a combinação de polioli e poliéster (UNIVAR, 2014).

Existem dois tipos de sistemas de processo de fabricação de espuma: o contínuo e descontínuo. A empresa estudada utiliza o processo de fabricação descontínuo. Desde os anos 50, na América do Norte e na Europa, as espumas flexíveis em bloco vêm sendo fabricadas com a utilização de equipamentos de espumação contínua, caros e sofisticados. Em contrapartida, equipamentos baratos de espumação descontínua (caixote) são os mais utilizados na América do Sul, Ásia e África, devido ao menor investimento e possibilidade de pequenas quantidades de uma grande variedade de tipos de espuma (VILAR,1999).

A produção de blocos de espumas flexíveis pelo processo descontínuo em caixote é a mais utilizada no Brasil, e nos últimos anos os produtores locais têm concentrado seus esforços na qualidade da espuma e automação do processo (VILAR,1999). VILAR (1999) cita que blocos de espuma são fabricados individualmente, sendo os mais recomendados quando a escala de produção não é muito grande.

VILAR (1999) descreve que neste processo ocorre a mistura dos reagentes em um misturador (vaso). Em seguida a mistura é despejada no caixote retangular e o crescimento ocorre naturalmente. O caixote possui superfícies planas laterais articuladas, é coberto por um sistema de tampa móvel. As tampas articuladas podem variar as dimensões da espuma produzida, a tampa do caixote controla altura e o relaxo da espuma. Deve-se atenção para que não haja a formação de bolhas de ar durante o despejamento da mistura, pois esta pode danificar a estrutura da espuma. A Figura 1, descreve as peças e partes da máquina de espumação:

Figura 1 - Máquina semi-continua – Equipamento de espumação



a) Tanques de matéria-prima; b) Sistema de dosagem; c) Misturador; d) Painel de controle; e) Caixote; f) Tampa flutuante; g) Bloco de espuma;

Fonte: Vilar (1999)

VILAR (1999) descreve o procedimento da seguinte forma: 1) Os componentes (poliol, carga, agente de expansão, corantes) são misturados dentro do misturador; 2) É adicionado a ASA (água, silicone e amina) e agitado; 3) É adicionado o estanho e após 20 a 30 segundos é despejado o TDI; 4) O caixote é revestido por desmoldante; 5) O misturador é removido e a tampa do caixote é abaixada; 6) Após o crescimento da espuma (cerca de 3 minutos), o caixote é aberto e o bloco de espuma é removido.

De acordo com UNIVAR (2014) “As máquinas de espumação descontínua, representam uma alternativa bem menos sofisticada e mais econômica em relação ao processo contínuo”. As principais peças da máquina são descritas da seguinte maneira:

- Caixa: Caixa metálica retangular ou cilíndrica, com articulações que permitem a entrada e saída do equipamento de espumação. Normalmente um fundo móvel é usado para facilitar a desmoldagem do bloco. As caixas retangulares podem ser feitas com vários tamanhos sendo que o comprimento e largura mais utilizados são 5 metros e 2 metros respectivamente.
- Caçamba: A caçamba, recipiente de formato cilíndrico onde os componentes da fórmula são misturados, deve ter um fundo móvel que permita a saída da mistura reacional para a caixa de espumação. Geralmente se usa uma caçamba para caixas com volume até 6 m³ e uma ou duas caçambas para caixas com volume de 12 m³.
- Agitador: O agitador mecânico, também conhecido por batedor, é um dos componentes mais importantes do equipamento descontínuo de espumação, pois o seu formato e velocidade, é que determinam a perfeita mistura de todos os produtos

da fórmula. Os agitadores com formato de hélice ou disco dentado são os mais usados.

- Tampa: A tampa metálica deve ter um sistema de contrapeso que permite variar a pressão que a mesma exerce sobre a espuma na fase final de seu crescimento. Deve possuir, ainda, furos regularmente espaçados por toda a sua área e cantos chanfrados para facilitar a saída de gases.
- Painel de Controle: O processo de espumação é comandado a partir de um painel onde se encontram os temporizadores, os controles de acionamento pneumático e o controle da velocidade do batedor.
- Sistemas de Acionamento Automático: Um sistema elétrico é usado para o motor que move o batedor e um sistema pneumático para adição do isocianato, deslocamento e abertura do fundo da caçamba e movimentação das paredes da caixa de espumação.
- Sistema de Exaustão: A área da espumação deverá estar dotada de um sistema de exaustão eficiente para remover os gases que são liberados no final do processo de espumação.
- Sistema de Lavagem: Após a derrama da mistura reacional na caixa de espumação, a caçamba deve ser lavada com água sob pressão e seca com ar comprimido. Pode-se, alternativamente, alimentar imediatamente o poliols para o próximo bloco para evitar esta lavagem. No entanto, a cada ciclo de 6 a 8 blocos a lavagem deve ser feita para evitar o acúmulo de resíduos nas paredes da caçamba.

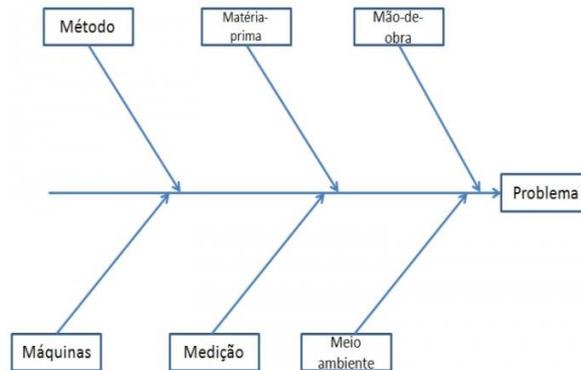
3. Ferramentas da qualidade

3.1 Diagrama de causa e efeito

Com o objetivo de auxiliar os gestores a lidar com o problema e suas reais causas, uma das ferramentas da qualidade mais poderosa é o chamado Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe. Esse gráfico é uma ferramenta de representação das possíveis causas que levam a um determinado efeito. As causas são agrupadas por categorias e semelhanças previamente estabelecidas durante o processo de classificação (MARSHALL JÚNIOR, 2008). MARSHALL JÚNIOR (2008) destacam que a “grande

vantagem é que se pode atuar de modo mais específico e direcionado no detalhamento das causas possíveis”, a Figura 2 demonstra a estrutura do Diagrama de Ishikawa:

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Marshall Júnior (2008)

3.2 Folha de verificação

É uma lista de itens pré-estabelecidos que serão marcados, a partir do momento que for necessário realizar algum tipo de avaliação. Segundo VIEIRA (1999), o modelo de folha de verificação utilizada dependerá de qual será o foco da análise, podendo ser como levantar a proporção de itens não-conformes; inspecionar atributo; indicar onde se localiza o defeito no produto final; levantar as causas dos defeitos; analisar a distribuição de uma variável; e monitorar um processo de fabricação. A Figura 3 demonstra um exemplo de estrutura de folha de verificação, a estrutura da folha de verificação varia conforme a necessidade das atividades realizadas e o objetivo de cada projeto.

Figura 3 - Folha de verificação 1

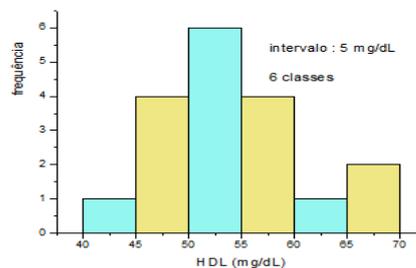
Lista de Verificação								
Problema:								
Estágio de Verificação:								
Produto:								
Total Inspeccionado:								
Turno	Máquina	Operador	DIA					Sábado
			Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
1	x	A	L					
		B		C			L	
	y	A						
		B	L					
2	x	C			C	F		
		D		L				F
	y	C						
		D				L		

Fonte: Vieira (1999)

3.3 Histograma

O histograma mostra a distribuição de frequências de dados obtidos por medições periódicas, criando assim um gráfico dos padrões que mais se repetiram em um determinado período. Na Figura 4 é possível ver o formato do gráfico, podendo ser utilizado da forma vertical ou na forma horizontal. Para Werkema (2006), “o histograma é um gráfico de barras em que no eixo horizontal é subdividido em diversos intervalos pequenos, que apresenta os valores determinados de uma variável de interesse”.

Figura 4 - Gráfico histograma

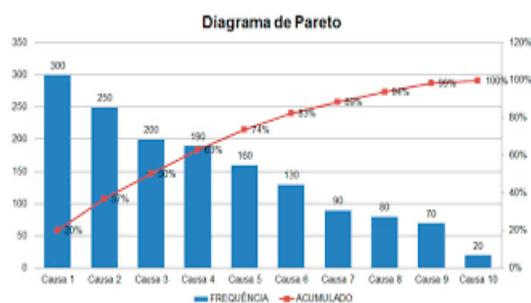


Fonte: Werkema (2006)

3.4 Diagrama de Pareto

Foi desenvolvido pelo engenheiro e economista italiano Vilfredo Pareto, que examinou a distribuição de riqueza em seu país e buscou descrevê-la estatisticamente. Ao fazer isso, descobriu que apenas 20% da população possuía a maior parte da riqueza. Fez a demonstração dessa distribuição graficamente, em uma curva cumulativa que ficou conhecida como a curva de Pareto (BROPHY,1996). É um gráfico utilizado para estabelecer uma ordenação de valores (maior parte para a menor), nas causas de um determinado problema ou não conformidades.

Figura 5 - Diagrama de Pareto 1

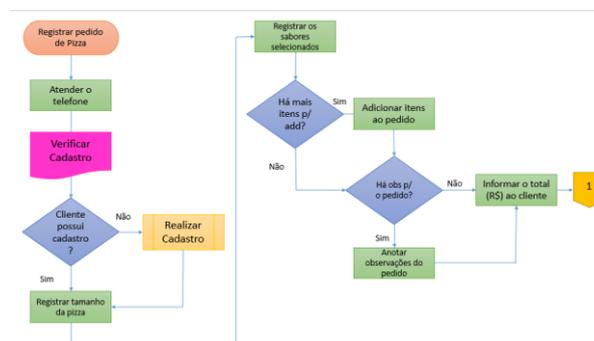


Fonte: Brophy (1996)

3.5 Fluxograma

Para Lucinda, (2010) o fluxograma é uma ferramenta que mostra de forma gráfica as etapas de um processo. Pode ser utilizado na análise de um processo corrente, pois permite a compreensão rápida do fluxo de atividades. Na Figura 6 é demonstrado a estrutura, a sequencia de como as atividades são distribuídas no fluxograma.

Figura 6 - Fluxograma



Fonte: Lucinda (2010)

4. Técnicas de planejamento e análise de experimentos

Nos processos de fabricação das indústrias, é possível perceber a grande variedade de informações, atividades e tipos de produções que são inseridas e necessárias para a produção de um produto ou realização de um serviço. Para cada característica de produção e produtos, existem fatores que podem influenciar positivamente ou negativamente no produto final, esses fatores devem ser analisados de forma precisa, com todo cuidado possível, pois em um processo pode existir algum fator que seja fundamental nos processos produtivos das indústrias e empresas. Para analisar os fatores de influência, existe a metodologia de planejamento de experimentos, que utiliza diversos tipos de modelos estatísticos para análise de resultados.

Segundo COSTA (1997), o uso de um modelo estatístico para o planejamento e avaliação dos resultados de um experimento é extremamente importante, já que proporciona uma interpretação mais precisa do fenômeno investigado. Alves e Maia (2017) acrescentam que os experimentos são utilizados para conhecer o processo empiricamente, entender a influência de determinados fatores e tomar as melhores decisões sobre os mesmos.

Segundo BUTTON (2016) o planejamento experimental representa um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo. Para Button (2016) estes objetivos podem ser divididos em objetivos secundários:

- Determinação de variáveis com maior influência nos resultados dos experimentos;
- Otimização de resultados por meio de atribuições de valores nas variáveis mais influentes;
- Minimização das variabilidades dos resultados, por meio de atribuições de valores as variáveis influentes;
- Minimizar as variáveis incontroláveis, através de atribuições de valores nas variáveis incontroláveis;

Button (2016) também cita algumas vantagens e benefícios na utilização de técnicas estatísticas de planejamento de experimentos:

- Redução do número de ensaios sem prejudicar a qualidade das informações;
- Determinação da confiabilidade dos resultados;
- Estudos simultâneos de diversas variáveis;
- Realização das pesquisas em etapas, num processo interativo de acréscimos de novos ensaios;
- Redução das variáveis que influenciam no processo com o número reduzidos de ensaios;
- Elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos;
- Representação do processo estudado através de expressões matemáticas;

4.1 Conceitos gerais

Alguns conceitos importantes para compreender o planejamento de experimentos são apresentados a seguir:

- **Fatores:** são fatores que influencia diretamente na variável resposta. Segundo GALDAMEZ (2002), os fatores podem ser classificados em fatores de controle ou

de ruído, o primeiro é descrito como fatores que podem ser alterados no experimento para identificar influências sobre a variável resposta. O segundo pode ser identificado no processo ou não, as suas influências sobre a variável de resposta nem sempre podem ser controladas.

- **Variáveis de resposta:** são variáveis que sofrem algum tipo de efeito nos testes, quando mudanças são realizadas propositalmente nos fatores. Segundo GALDAMEZ (2002), os experimentos podem possuir mais de uma variável de resposta.
- **Níveis de fatores:** são as condições de operação dos fatores de controle investigados nos experimentos (GALDAMEZ, 2002). Alves (2017) acrescenta que são as faixas das variáveis de controle, onde tem como objetivo encontrar níveis ótimos dos fatores de controle. São identificados como nível baixo (-1) e nível alto (+1).
- **Tratamento:** é a combinação dos níveis de diferentes fatores (GALDAMEZ, 2002).
- **Matriz de experimentos:** Estrutura formal onde serão alocados os fatores e níveis de fatores (GALDAMEZ, 2002).
- **Ensaio:** é cada um dos experimentos realizados, com alterações e variações nos níveis dos fatores (GALDAMEZ, 2002).
- **Réplicas:** São repetições de experimentos realizadas sobre as mesmas condições experimentais. Deve garantir que os demais fatores que podem afetar a variável de resposta nos experimentos se mantenham constantes, sem alterações e variações experimentais.

4.2 Método de aplicação planejamento

De acordo com BUTTON (2016) é necessário dominar a metodologia estatística necessária para o planejamento e para análise dos dados, o pesquisador deve conhecer exatamente o que deseja estudar, como coletar os dados, assim como ter uma estimativa qualitativa de como os dados serão analisados. De acordo BOX, HUNTER (2005), é possível dividir o planejamento de experimentos em 7 etapas que devem ser seguidas durante os estudos de planejamento de experimentos.

4.2.1 Definição dos objetivos do experimento

Nesta fase é importante definir os problemas dos produtos e do processo de fabricação, os objetivos do experimento, selecionar uma equipe que seja responsável e comprometida com todas as atividades do processo experimental (GALDAMEZ, 2002). Para identificação dos problemas, é recomendado a utilização da ferramenta brainstorm, onde tem como objetivo levantar ideias propostas pela equipe envolvida no processo e planejamento de experimentos, deste modo estimulando a criatividade e estratégias para o planejamento.

4.2.2 Parâmetros do experimento

É realizado a coleta de informações sobre o produto e processos realizados para a fabricação do mesmo, onde devem ser listados e identificados todos os tipos de fatores que influenciam positivamente ou negativamente o processo ou produto estudado.

4.2.3 Seleção dos fatores de controle e variáveis de resposta

Deve-se definir os fatores a serem variados no experimento, a faixa dentro da qual cada fator variará e os níveis para os quais testes serão feitos (CARPINETTI, 2009). GALDAMEZ (2002) acrescenta dizendo que é necessário também definir o método de medição dos fatores de controle e escala numérica que será utilizada para se avaliar as respostas do experimento definido nas fases anteriores.

4.2.4 Seleção da Matriz experimental

Ao realizar a matriz experimental, deve ser considerado e selecionados os números de fatores de controle, os números de níveis e os fatores não controláveis do processo (GALDAMEZ, 2002). Nesta fase também é definido o número de réplicas realizadas, as restrições dos experimentos e as possíveis interações que possam ocorrer entre os fatores estudados.

4.2.5 Realização do experimento

Segundo BUTTON (2016), nesta fase é muito importante o conhecimento e o domínio, dos instrumentos, equipamentos e métodos por parte das pessoas envolvidas nos experimentos. O cuidado e atenção deve ser dobrada nesta fase, pois qualquer variação indesejada durante o experimento pode acarretar em análises e resultados incorreto, CARPINETTI (2009) complementa, dizendo que o monitoramento dos processos deverá ser realizado de forma muito cuidadosa, pois erros nos procedimentos experimentais muito provavelmente invalidará o resultado do experimento.

4.2.6 Análise de dados

Os conceitos estatísticos são aplicados nos resultados de um experimento, para descrever o comportamento das variáveis de controle, a relação entre elas e para estimar os efeitos produzidos nas respostas observadas (GALDAMEZ, 2002).

CARPINETTI (2009), complementa dizendo que os métodos estatísticos não são capazes de provar que um fator tenha um efeito particular. Os métodos estatísticos permitem medir o erro provável de uma conclusão com um certo grau de confiança.

4.2.7 Interpretação dos resultados

Nesta fase ocorre a interpretação dos dados coletados das análises realizadas, com o objetivo de propor melhorias nos produtos ou processos de fabricação. A utilização de gráficos para interpretação e análises dos resultados se tornam importantes, pois por meio deles é possível ter uma visão mais clara e simples do comportamento dos dados analisados na etapa anterior.

4.3 Planejamento fatorial

Os delineamentos fatoriais são amplamente utilizados em experimentos envolvendo vários fatores, quando necessário estudar o efeito conjunto dos fatores em uma resposta, utilizando apenas dois níveis (MONTGOMERY, 1991). Para BUTTON (2016), o planejamento fatorial é indicado utilizar nos estudos de dois ou mais efeitos sobre a variável resposta. MONTGOMERY (1991) explica que os níveis podem ser quantitativos (temperatura, pressão, tempo, etc), assim como qualitativos (máquinas, operadores, etc). MONTGOMERY (1991) cita que os planejamentos 2^K são particularmente úteis nos estágios iniciais do projeto experimental, onde muitos fatores serão analisados. GALDAMEZ (2002), complementa dizendo que o planejamento fatorial é indicado para a fase inicial, com objetivo de definir os fatores de influência e conhecer os efeitos e influência sobre variável resposta.

Em um experimento fatorial, todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores são testadas (CARPINETTI, 2009). Um exemplo simples seria: Se tivermos fator A com dois níveis e o fator B com três níveis, teremos $2 \times 3 = 6$ combinações e experimentos que deveriam ser testadas (CARPINETTI, 2009). Para BOX, HUNTER (2005), os projetos de planejamento fatoriais de dois níveis possuem uma grande importância, pois:

- Eles exigem poucas execuções por fator estudado;

- As interpretações das observações produzidas podem ser representadas e analisadas por meio de gráficos de bom senso (fácil análise), aritmética elementar e por ferramentas computacionais.
- Para análises de fatores quantitativos, onde não é possível explorar um amplo domínio do espaço fatorial, é possível determinar uma direção promissora para novas experiências, projetos e experimentos.
- Os projetos podem ser adequadamente aumentados quando é necessária uma exploração mais completa., processo chamado de montagem sequencial.

4.3.1 Fatorial 2^K

É um experimento que pode possuir vários fatores, mas variando em apenas 2 níveis, onde segundo GALDAMEZ (2002), tem como objetivo realizar testes com cada um dos fatores escolhidos e níveis determinados, para identificar os efeitos principais de interação.

Os níveis são identificados e diferenciados por -1 e +1, onde -1 é o menor valor e +1 o maior valor a ser estudado. Segundo CARPINETTI (2009), o experimento pode ser montado e planejado o sequenciamento das combinações entre níveis e fatores da seguinte forma:

- 1) Para o fator de controle 1 (X_1), escreva uma coluna de número “1”, alternando seus sinais em -1 e +1, ou seja, para um experimento com 8 testes por exemplo, os níveis seria sequenciado da seguinte forma: -1, +1,-1, +1,-1, +1, -1, +1;
- 2) Para o fator de controle 2 (X_2), escreva uma coluna de número “1”, alternando de dois em dois seus sinais, da seguinte forma: -1, -1, +1, +1, -1, -1, +1, +1;
- 3) Para o fator de controle 3 (X_3), escreva uma coluna de número “1”, alternando de quatro em quatro seus sinais, da seguinte forma: -1,-1,-1, -1, +1, +1, +1, +1;

De modo geral onde temos um experimento com vários fatores de influência, ou seja, para K fatores em um experimento a 2^k , segundo DEVOR et al. (1992) *apud* CAMORIM (2008), a construção da matriz deve ser feita da seguinte forma:

- a) A coluna X_1 , os sinais da coluna (1) serão alternados em grupos de $2^0 = 1$;
- b) Na coluna seguinte X_2 , os sinais de (1) devem estar dispostos alternadamente, só que em pares, de acordo com o grupo $2^1 = 2$;
- c) Para coluna X_3 , os sinais de (1) devem seguir a mesma lógicas apresentada nos passos anteriores, portanto deve alternar respeitando o grupo $2^2 = 4$, seguindo grupos de 4 (-1,-1,-1,-1) ou (+1, +1, +1, +1);

- d) De forma geral, para coluna X_K , os sinais de (1) vão ter que se alternar de $2^{(k-1)}$ vezes para -1, seguidos de $2^{(k-1)}$ vezes para +1, alternadamente.

Abaixo temos a matriz montada (tabela 1) para sequenciamento considerando apenas três fatores e respeitando a ordem de 2^0 , 2^1 e 2^2 .

Tabela 1: Sequenciamento dos níveis dos fatores

Fator de controle		
X1	X2	x3
-1	-1	-1
+1	-1	-1
-1	+1	-1
+1	+1	-1
-1	-1	+1
+1	-1	+1
-1	+1	+1
+1	+1	+1

Fonte: Carpinetti (2009)

4.3.2 Cálculo dos efeitos principais

O efeito principal mede o grau de variação de um determinado fator A, pode causar na variável resposta quando todos os níveis desse fator forem avaliados, independentemente dos comportamentos dos demais fatores existentes (CAMORIM,2008). CARPINETTI (2009) complementa dizendo que o efeito principal corresponde ao valor médio do gradiente de mudança de resposta produzida pela mudança no nível do fator, do nível (-1) para o nível (+1), mantendo os outros fatores constantes. O efeito principal pode ser definido como pela eq. (1.1).

$$E_1 = X_1 (+) - X_1 (-) \tag{1.1}$$

Considere o exemplo descrito na (tabela 2), abaixo temos um modelo genérico da matriz de planejamento de experimentos de 2^3 , onde podemos perceber que a ordem dos testes acontece de forma aleatória, para que outras possíveis fontes de variabilidades não interfiram sistematicamente no resultado do experimento.

Tabela 2: Matriz planejamento experimental

Teste	Fator de controle			Ordem teste	Resposta
	X_1	X_2	X_3		
1	-1	-1	-1	5	Y_1
2	+1	-1	-1	8	Y_2
3	-1	+1	-1	4	Y_3
4	+1	+1	-1	7	Y_4
5	-1	-1	+1	2	Y_5
6	+1	-1	+1	3	Y_6
7	-1	+1	+1	1	Y_7
8	+1	+1	+1	6	Y_8

Fonte: Carpinetti (2009) 1

A primeira coluna representa o número de testes realizados, a segunda coluna temos os fatores (X_1 e X_2) e seus diferentes níveis (-1, +1) a serem estudados, na coluna seguinte a ordem dos testes (escolhidos de forma aleatória) e por último a resposta encontrada.

O efeito principal de X_1 corresponde a mudança da resposta média do processo, quando o nível de X_1 é alterado de (-1) para (+1) mantendo os outros fatores constantes (Carpinetti, 2009). O cálculo da média está descrito abaixo por meio da eq. (1.2).

$$E_1 = \left(\frac{Y_2+Y_4+Y_6+Y_8}{4} \right) - \left(\frac{Y_1+Y_3+Y_5+Y_7}{4} \right) \quad (1.2)$$

Outra forma para encontrar o efeito principal é utilizando o modelo geométrico, demonstrado anteriormente. Onde é calculado pela média da diferença de contrastes (níveis) entre os planos 2 e 1.

Para Efeito principal E_1 , temos que:

- $Y_2 - Y_1$
- $Y_4 - Y_3$
- $Y_6 - Y_5$
- $Y_8 - Y_7$

Realizando o cálculo da média, descrita na eq. (1.3), temos que:

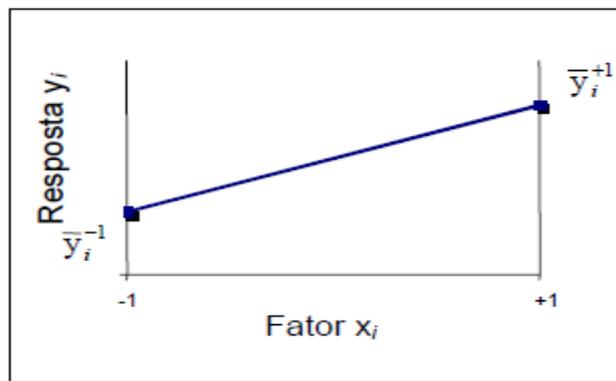
$$E_1 = \frac{1}{4} [(Y_2 - Y_1) + (Y_4 - Y_3) + (Y_6 - Y_5) + (Y_8 - Y_7)] \quad (1.3)$$

Para os demais efeitos E_2, E_n , devem seguir o mesmo método de cálculo.

Para realizar a interpretação dos gráficos dos efeitos principais e de interação, deve levar em consideração duas propriedades, DEVOR et al. (1992) *apud* GALDAMEZ (2002).

A Figura 8 representa o gráfico da variação do efeito principal, onde é possível perceber o gráfico linear, indicando a variação média das respostas em função de variação dos níveis (-1, +1) de um fator X_i , mantendo o restante dos fatores constantes (GALDAMEZ, 2002).

Figura 7: Gráfico efeito principal



Fonte: Galdamez (2002)

4.3.3 Cálculo dos efeitos de interações

Para iniciar os cálculos de efeitos de interações é necessário criar uma nova matriz de experimentos, considerando desta vez as combinações e relações entre os fatores estudados. Considere um experimento de 2^3 , onde as combinações entre os fatores estão alocadas de forma em que se deve considerar os níveis estudados (-1) e (+1). Segue a (tabela 3) abaixo para exemplificação:

Tabela 3: Estrutura matriz efeitos principais e interação

Teste	Efeitos principais			Efeitos de interação			
	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Fonte: Carpinetti (2009)

Para calcular os valores das colunas de interações, basta multiplicar os valores (-1) e (+1) das colunas dos efeitos principais. O cálculo dos efeitos de interações nas respostas, deve seguir as seguintes instruções:

- a) Multiplicar os resultados da variável de resposta pela coluna de interação;
- b) Somar todos os valores;
- c) Dividir a soma sempre pela metade do número de condições de testes, N/2.

Segue o exemplo abaixo na (tabela 4), para o cálculo de efeitos de interação, o exemplo descrito é baseado nos exercícios demonstrados e aplicados por CARPINETTI (2009). Cálculo do efeito de interação E_1 .

Tabela 4: Cálculo dos efeitos de interação

X_1	x (multiplicação)	Y
-1	x	Y_1
+1	x	Y_2
-1	x	Y_3
+1	x	Y_4
-1	x	Y_5
+1	x	Y_6
-1	x	Y_7
+1	x	Y_8
Soma	=	Total (T)

Fonte: Carpinetti (2009)

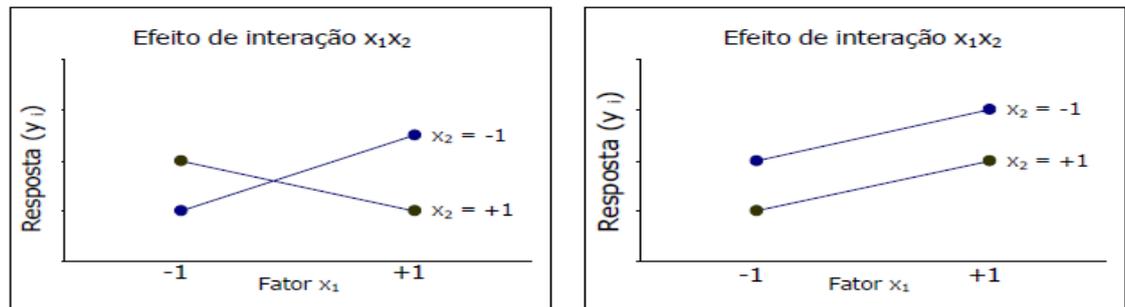
Após a multiplicação da coluna de fatores pela coluna de respostas, deve realizar a divisão da soma pela metade do número de testes realizados, como demonstrado na eq. (1.4):

$$\frac{\text{Soma}}{n/2} = E_1 \quad (1.4)$$

Este cálculo deve ser realizado para todas interações entre fatores, com o intuito de identificar e analisar as interações e os gráficos construídos.

Para o gráfico de interação é possível perceber relação uma vez que os fatores se interceptam no gráfico, onde podemos ver de forma mais clara na (figura 9) do gráfico (a) abaixo, e a falta de interação no gráfico (b).

Figura 8: Gráficos Efeitos de Interações 1



Fonte: Galdamez (2002)

5. Metodologia

Tendo em vista o presente estudo, foi realizado um estudo exploratório, fundamentado com a revisão de literatura. Quanto à abordagem a pesquisa foi quantitativa, ou seja, houve a quantificação durante o projeto. O estudo desenvolveu por meio de análises de dados históricos, análise de dados estatísticos, informações de setores da empresa sobre alguns processos e técnicas utilizadas para resoluções de problemas.

Ainda, para o desenvolvimento do trabalho, houve um estudo detalhado sobre as causas dos problemas, fundamentação da resolução desses problemas e aplicação dos mesmos na empresa. Seguindo os passos:

5.1 Revisão bibliográfica

Para o desenvolvimento do trabalho, foram estudadas as características de espumas poliuretanas e seu processo de fabricação, as ferramentas básicas da qualidade, utilizadas no tratamento dos dados, e as técnicas de planejamento e análise de experimentos para identificação de fatores mais relevantes que influencia o processo de crescimento e encolhimento da espuma.

5.2 Levantamento de informações

Por meio de pesquisas, e entrevistas com funcionários de todos os níveis de operação, foram levantadas todas as informações necessárias, para que pudesse ter um estudo mais completo e seguro do processo de produção.

5.3 Estudos e levantamento de informações e coleta de dados

Os dados foram levantados da seguinte forma: Durante o procedimento de corte e remoção do cascão, foram coletadas informações descritas na etiqueta do bloco de espumas,

informações como, horário de produção, código de cadastro do bloco, ordem de produção, dimensão do bloco. Foram realizadas medições de todas as extremidades do cascão, para que pudesse extrair todas as variações na espessura, anotando a maior e menor medida identificada, em seguida, foram medidos o comprimento e a altura do cascão, para que pudesse identificar o volume desperdiçado no momento do corte.

5.4 Identificação de fatores

Foi realizado um brainstorm com a equipe de operadores do processo de espumação, para identificar todas as variáveis que pudessem ocorrer e influenciar no processo de produção e encolhimento de espumas. Por meio de *brainstorm*, foi possível identificar ações internas e externas que agem sobre a produção do bloco de espuma.

5.5 Realização de teste e experimentos fatoriais

Após a identificação de fatores de influências sobre o bloco de espuma durante a produção e processo de cura (encolhimento), foram realizados testes com algumas densidades determinadas com base nas coletas de dados do tópico 5.4, e realizados o planejamento fatorial 2^K , para fatores determinados no tópico 5.5.

5.6 Análise de dados dos testes e experimentos realizados

Foram realizados gráficos para identificar correlações entre os fatores estudados, por meio de cálculos de efeitos principais, e efeitos de interação.

6. Desenvolvimento

Na produção do bloco de espuma, é possível definir a densidade, as características de coloração, peso, tamanho do bloco, entre outras características da espuma. Para a produção da espuma, deve-se considerar algumas variáveis, que podem interferir nessa produção, como por exemplo, a temperatura ambiente no dia de produção, a matéria prima utilizada, uma vez que a empresa possui vários fornecedores de matéria prima. Todas essas variáveis podem interferir na produção do bloco, mesmo que o processo seja totalmente automatizado.

A espuma é produzida dentro de um caixote retangular, onde é possível regular as dimensões do bloco de espuma a ser produzido. Existem limitações nas dimensões dos blocos, sendo a mínima dimensão de 1,88 m de largura, 4,20 m de comprimento e não possuindo uma altura mínima. Para a dimensão máxima, temos 2,20 m de largura, 5,20 m de comprimento e 1,25m de altura. Na indústria estudada existe um padrão de medida para a produção dos blocos

de espumas que deve ser considerada no momento de definir o tamanho do bloco a ser produzido, uma vez que, no processo de espumação, o bloco após o seu crescimento, possui um tempo de relaxo, e um período de cura de 36 horas que faz com a espuma encolha de tamanho, garantindo as propriedades físicas e químicas necessárias para consumo. O padrão de medida é relacionado ao corte externo, e a retirada do cascão das pontas (atrás e frente do bloco) e as laterais do mesmo, dependendo da forma que o cliente deseja a sua espuma. Para blocos limpos, ou seja, é removido o cascão das laterais e pontas do bloco, na largura deve ser acrescentado 10cm e 18cm de comprimento a mais, pois sempre se analisando o relaxo e a limpeza já programada (remoção do cascão) do bloco. Para blocos pontas limpas (remoção do cascão da frente e atrás do bloco), deve acrescentar 5cm de largura e 18cm de comprimento, e para sem limpar (o bloco vai inteiro para o cliente), deve acrescentar 5cm de largura e 8cm de comprimento do bloco.

Atualmente a empresa utiliza o padrão de medida estabelecido por um engenheiro químico há anos atrás, onde foi definido uma margem de espuma em excesso que deve ser considerada durante a produção, devido ao processo de cura que acarreta no encolhimento de forma natural e químico da espuma, e da remoção do cascão durante o corte. O padrão de medida utilizado atualmente, está descrito abaixo (tabela 5), assim como citado anteriormente:

Tabela 5: Padrões atuais das margens de folga

MEDIDAS - BLOCOS		
BLOCOS	COMPRIMENTO	LARGURA
SEM LIMPAR	8 CM	5 CM
LIMPAR PONTAS	18 CM	5 CM
LIMPO	18 CM	10 CM

Fonte: Autor

Hoje, a grande problemática da indústria está diretamente relacionada ao tamanho do cascão, que está sendo retirado no momento do corte, no setor de corte externo. Os padrões de medidas para produção dos blocos, não estão sendo totalmente efetivos, dessa forma gerando cascões maiores do que o normal estabelecido, que é de 2 cm de espessura. Portanto é necessário a realização deste estudo, com foco na redução dos desperdícios de espuma, durante a produção e o corte externo, buscando atuar de forma rápida e objetiva na redução supracitada, assim como nos desperdícios levantados na indústria.

O estudo teve foco no padrão de produção “Limpar pontas” pois tem sido a maior fonte de desperdícios no setor de produção. Na limpeza das laterais não tem havido excesso, por isso foi excluído do escopo do projeto. Para conseguir reduzir o volume de espuma em excesso, é necessário entender o processo, e quais fatores tem influências sobre as espumas produzidas, pois por meio do comportamento de encolhimento da espuma, será possível definir ou estimar uma nova relação de medidas de forma que se reduza o desperdício durante a remoção do cascão.

6.1 Descrição do processo

A máquina é programada com o auxílio de um programa que monitora todo o processo de produção (figura 10), controlando a pesagem de matéria prima, mistura de matérias primas, estoques e dimensões dos blocos de espumas, entre outros fatores necessário para a produção.

Figura 9: Sistema de espumação



Fonte: Autor

A produção dos blocos de espumas tem início no momento em que é realizada a pesagem da matéria prima, este processo é totalmente automatizado ficando a cargo do espumador. Mas no momento em que ocorrem as pesagens e misturas da matéria prima, outros processos estão sendo realizados em paralelo. A primeira etapa de mistura e pesagem da matéria prima é chamada de “primeira batida” que consiste na mistura da ASA (água, silicone e amina) no polioliol, uma vez que o polioliol já havia sido descarregado no reator, também é adicionado corante caso necessário. Em paralelo a “primeira batida” está ocorrendo a regulagem da tampa do caixote para as dimensões necessárias estabelecidas para o bloco a ser produzido, no momento de regulagem da tampa é necessário o auxílio dos auxiliares de produção, que estarão regulando o plástico que reveste a tampa do caixote.

Em seguida ocorre a “segunda batida” onde é adicionado o estanho ao resto da mistura já realizada (primeira batida). Em paralelo a este processo, os auxiliares de produção estão revestindo o caixote com plástico em todas as laterais, para que o bloco no momento em que é produzido não perca a temperatura de uma forma rápida e acelerada, pois a temperatura do bloco deve ser perdida de forma gradativa, para garantir todas as suas propriedades e características durante o processo de cura. O plástico possui outras funções, como por exemplo, garantir que a substância que formará o bloco e será despejada, não suje o caixote.

Este processo de revestimento deve ser feito com extremo cuidado (figura 11), pois se o plástico não for totalmente fixado nas laterais do caixote, pode ocorrer bolhas de ar durante o processo de produção, assim gerando estouros nos blocos (devido o plástico estar solto, ele acaba penetrando a espuma).

Figura 10: Revestimento caixote



Fonte: Autor

A próxima etapa é a “terceira batida”, adiciona-se a substância TDI (Diisocianato de Tolueno), iniciando-se a reação química. Após alguns segundos de mistura dentro do reator, o TDI é despejado dentro do caixote, e instantaneamente inicia o crescimento da espuma, se moldando conforme as dimensões do caixote. Nesse momento até o início do crescimento da espuma, recebe o nome de “Tempo de creme”. No momento em que a espuma está em processo de crescimento, é realizada a adição de contrapesos (placas de ferro 5kg) para limitar o crescimento a altura determinada no pedido do bloco. Após o crescimento da espuma, ocorre o processo de relaxo da espuma, onde a espuma sofre um encolhimento que garantirá algumas de

suas propriedades. Cada tipo de espuma e densidade, possui um relaxo, quantidade de matéria prima (estanho, silicone, TDI, água, amina, entre outros) para garantir as suas propriedades químicas e físicas.

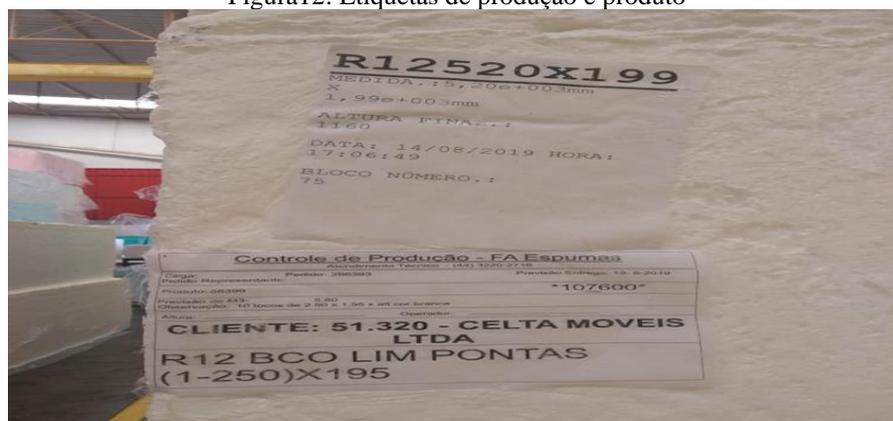
Figura 11: Despejamento da espuma



Fonte: Autor

Assim que termina a produção da espuma, são coladas duas etiquetas no bloco (figura 12), a primeira etiqueta contém dados a respeito da produção, tamanho, horário, data e número de produção e densidade. A segunda possui informações referentes ao pedido do cliente, como por exemplo, ordem de produção, código do pedido, descrição do corte, densidade.

Figura12: Etiquetas de produção e produto



Fonte: Autor

Após a produção dos blocos de espuma, o mesmo é levado para o barracão de cura, descrito na (Figura 13), onde irá ficar por 36 horas até estar frio, e pronto para o corte. No

período de 36 horas os blocos de espumas podem atingir altas temperaturas, trazendo riscos de incêndios, por isso é necessário que o bloco fique em observação. Neste período também ocorre um encolhimento do bloco, por este motivo é necessário considerar os padrões de medidas estabelecidos em excesso no momento de produção da espuma, pois durante todo o processo de produção e corte, há perdas e encolhimento nas dimensões dos blocos.

Figura 13: Setor de cura



Fonte: Autor

Depois de concluído o processo de cura, o bloco de espuma é transportado até o setor de Corte externo, onde será realizado o corte do bloco nas dimensões solicitadas e na remoção do cascão (figura 14). As medidas de corte seguem a relação e descrição do pedido feito pelo cliente, seguindo as descrições que se encontram no planejamento de corte do operador da máquina (Laminadora vertical).

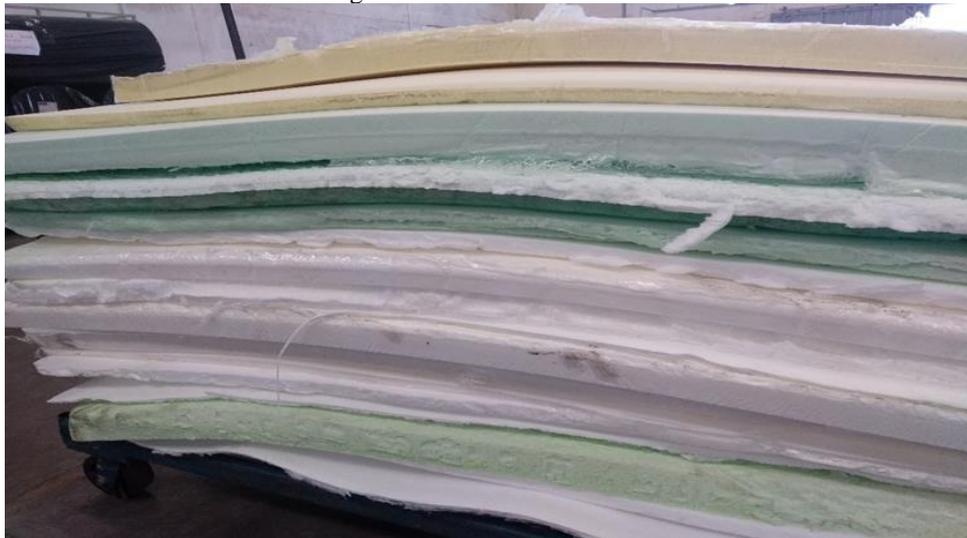
Figura 14: Corte da espuma



Fonte: Autor

Após a remoção do cascão, este é separado em um carrinho (figura 15) e poderá ser destinado para venda, ser utilizado na produção em produtos com pouco valor agregado ou flocado. A remoção em excesso na espessura do cascão traz desperdícios de espumas, valor agregado e prejuízo financeiro para indústria.

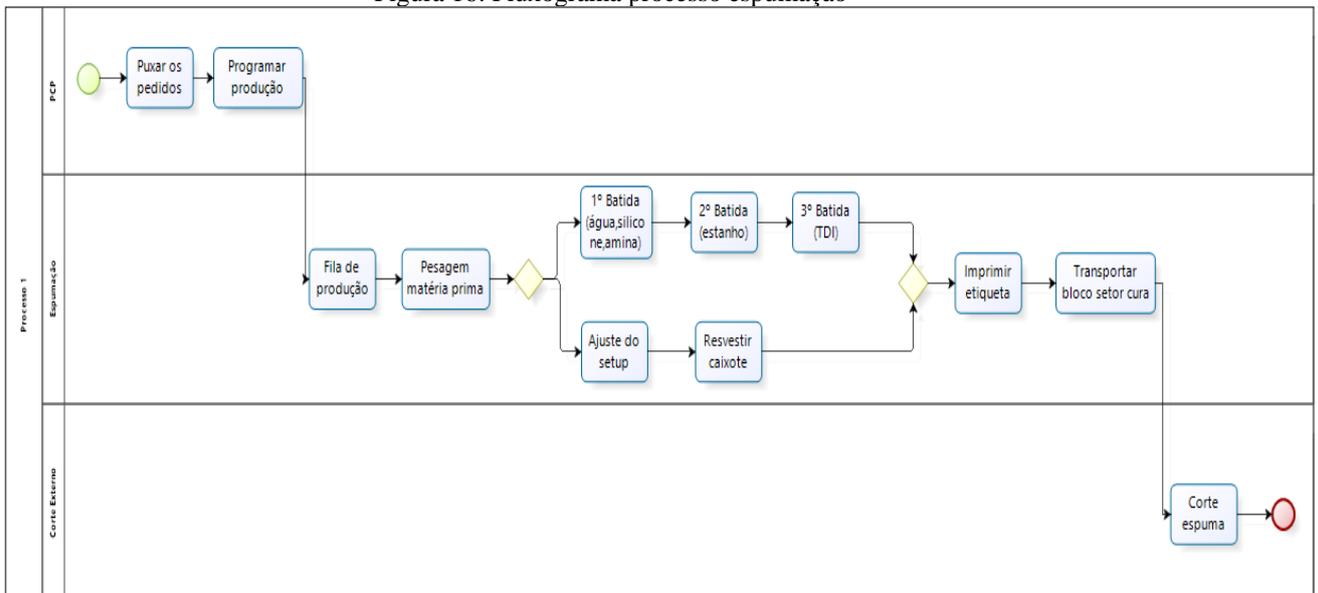
Figura 15: Cascão removido 1



Fonte: Autor

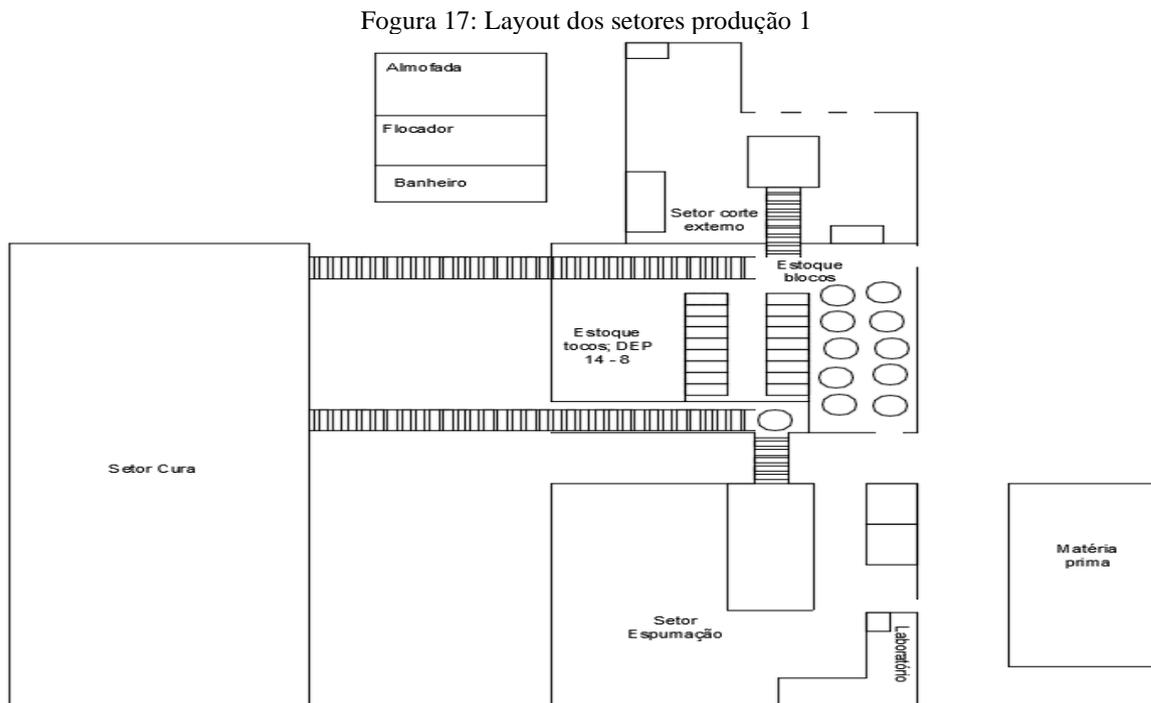
A figura 16 traz o fluxograma que representa todo processo produtivo.

Figura 16: Fluxograma processo espumação



Fonte: Autor

A Figura 17 ilustra o layout dos setores de produção:



Fonte: Autor

6.1.1 Parâmetros de influencia no crescimento e relaxamento

Com base na descrição do processo (item 6.1), e com a necessidade de identificar influências internas e externas existentes no processo, foi realizado um Brainstorm, juntamente com a utilização e aplicação da ferramenta Diagrama de Ishikawa, para identificação dos principais fatores de influência no crescimento e relaxamento da espuma durante a produção. Durante o brainstorm e o período de pesquisa, participaram operadores da máquina (espumadores), engenheiros químicos, mecânicos e auxiliares de produção e encarregados de produção.

Os fatores sugeridos e propostos para análises foram: temperatura ambiente, densidades das espumas, TDI (Diisocianato de Tolueno) utilizado, estanho, quantidade de água e silicone. Com auxílio da literatura (VILAR, 1999), compreendeu-se melhor sua influência na produção da espuma.

Temperatura Ambiente: As espumas devem ser curadas na temperatura ambiente por um período de no mínimo 24 horas, para permitir o término das reações secundárias que só

ocorrem nas altas temperaturas que se desenvolvem no período de cura. O manuseio e corte de espumas sem cura adequada podem acarretar encolhimento e perda de propriedades físicas. Outro comportamento identificado durante a produção, foi que a variação de temperatura durante a produção, principalmente em estações diferentes (inverno e verão) acarretam em mudança no comportamento de encolhimento, onde em períodos mais quentes a espuma encolhe menos, e em períodos mais frios a espuma encolhe mais.

Densidades: Por existirem várias classes (grupos) de espumas, seus valores de concentração de produtos químicos para produção podem variar para mais ou menos, dependendo da densidade desejada.

TDI: É observado empiricamente que os níveis de reatividade do TDI são diferentes, dependendo do fornecedor. Por isso, os operadores adotaram padrões diferentes para correção da quantidade de TDI a ser utilizada, para cada fornecedor.

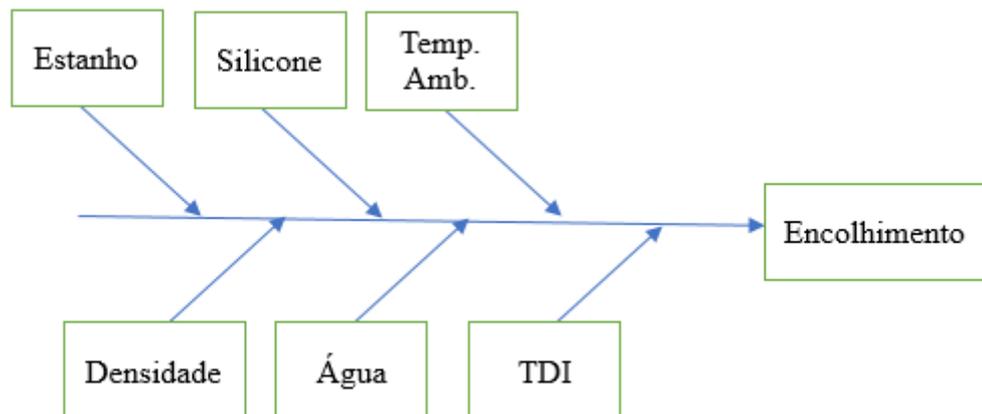
Estanho: Empiricamente, é observado que as espumas com excesso de estanho apresentam células muito fechadas que irão diminuir a elasticidade da espuma, ou seja, os valores de tensão de ruptura, alongamento e resistência ao rasgamento. O estanho também exerce uma ação direta com a temperatura e inversa com o TDI, uma vez que, se a temperatura ambiente estiver muito baixa, é necessário usar um pouco a mais de estanho do que o normal, da mesma forma, se estiver com a temperatura ambiente muito alta, deve utilizar um pouco menos de estanho na produção. Com relação ao TDI, dependendo de qual fornecedor é, a quantidade de estanho deve ser alterada para a produção de espumas.

Água: A água é um dos principais agentes de expansão químico na produção de espumas. O responsável pela expansão é, na verdade, o dióxido de carbono (CO₂), que se forma pela reação química da água com o TDI. Uma das grandes funções da água é controlar as densidades das espumas: quanto maior for o nível de água, menor será a densidade. Influência no crescimento e relaxamento

Silicone: Os silicones auxiliam a abertura celular, necessária para que não ocorra encolhimento da espuma, trabalhando em conjunto com o catalisador de estanho na obtenção de uma estrutura celular forte com paredes flexíveis que possam se romper e permitindo a saídas dos gases (ou seja produzindo espumas com células abertas).

Após o levantamento dos possíveis fatores de relação, foi criado o Diagrama de Ishikawa (figura 19):

Figura 18: Diagrama Ishikawa – Parâmetros de Influência



Fonte: Autor

6.2 Primeira análise

A primeira análise se baseou em coletar medidas dos cascões durante o corte da espuma, com o auxílio de uma folha de verificação, onde eram coletadas informações das etiquetas de produto e produção dos blocos. As informações iniciais coletadas eram: código do produto (pois por meio dele era possível encontrar outras informações referente ao pedido e características do produto); data de produção; data de coleta; medidas dos dois cascões removidos (frente e atrás); densidade.

Durante a produção do bloco de espuma, o bloco cresce e toma forma dentro de um caixote que não é totalmente simétrico (reto), possuindo uma leve inclinação de uma ponta para outra. Essa inclinação é devido a quantidade de produtos que tendem a ficar na parte baixa do bloco, assim existindo uma maior concentração de produtos e maior crescimento na parte inferior do bloco, deste modo, para compensar a parte superior, é adicionado esta inclinação na parte superior do bloco. Mas esta inclinação não está totalmente correta, pois durante o corte e remoção do cascão é possível perceber que há uma diferença nas espessuras das quatro extremidades do cascão. Também deve levar em consideração, que o cascão produzido em volta do bloco, não possui uma total uniformidade, assim havendo elevações nas superfícies dos blocos de espumas.

Houve alguns questionamentos com relação à máquina de corte (toqueadeira), referente a inclinação da lâmina no momento do corte, pois poderia estar torta. Por isso foi realizada uma manutenção na máquina e conferidas as dimensões nas quatro partes dos blocos e tocos

cortados, concluindo que a lâmina da máquina não estava torta, assim havendo influência nas espessuras dos cascões somente devido a inclinação do caixote.

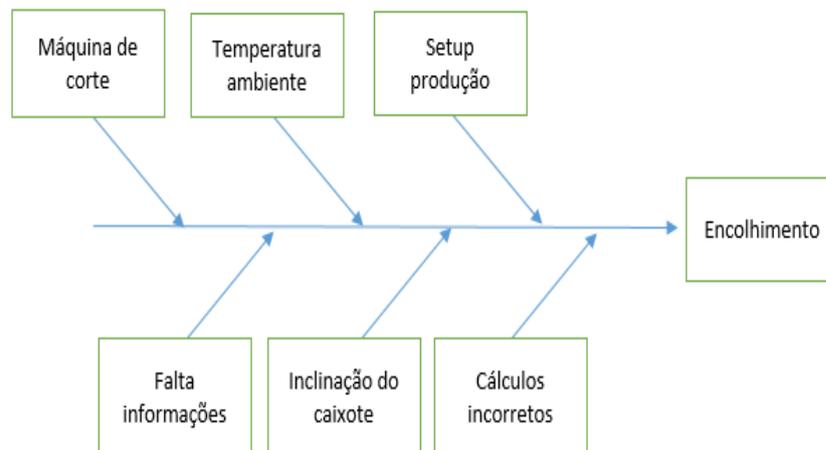
Devido a essa variação nas espessuras dos cascões, as medições ocorriam da seguinte forma, eram coletadas as medidas da espessura nas quatro pontas do cascão, e anotado somente a menor e maior medida. No início do trabalho, foi realizada a tentativa de trabalhar com a média das quatro pontas do cascão, mas no momento da redução de tamanho dos blocos de espuma, ao levar em consideração a média para a redução, alguns blocos faltavam medida para o corte, assim não conseguindo remover o cascão do bloco. Esta não remoção do cascão ocorria devido, alguns blocos possuírem em uma das pontas uma medida muito pequena, e em outras pontas existirem uma medida maior, assim durante o cálculo da média, era encontrado um valor incorreto para redução, pois a média ficava acima do valor da menor espessura medida do cascão.

Por existir uma grande quantidade e variações de blocos de espumas, tanto em cor, como em densidades, existe algumas medidas já padronizadas na empresa, como por exemplo, 520 x 190; 520 x 195; 498 x 195, entre outras. No momento em que era reduzida a medida do bloco, ao cair novamente o bloco para a produção, dependendo da quantidade em que foi reduzido o bloco, era criado uma nova dimensão de bloco, portando criando um novo setup na máquina de produção de espumas, assim prejudicando o tempo de produção.

Outro grande problema neste estudo inicial, foi observado com a chegada do inverno, em que alguns blocos já reduzidos no período de outono, em que a temperatura estava muito baixa, apresentaram um certo encolhimento maior do que no período de calor. Esse encolhimento fez com que alguns blocos não fossem limpos (removido cascão), desta forma, foi necessário readequar as medidas destes blocos. É importante citar, que nem todos os blocos tiveram mudança no encolhimento da espuma, no período de inverno.

Devido aos problemas encontrados, surgiu a ideia do projeto em criar um novo padrão de medidas para as espumas, levando em consideração o comportamento de encolhimento, a redução dos desperdícios de espuma, e a realização e aplicação do método de planejamento experimental fatorial. Mas para a criação de um novo projeto, primeiramente foi necessário corrigir alguns erros e problemas já citados acima. Para identificação dos problemas foi criado um diagrama de Ishikawa (figura 20) para identificar e listar todos os problemas e obstáculos encontrados já na primeira análise:

Figura 19: Diagrama Ishikawa – Análise inicial



Fonte: Autor

Algumas mudanças foram realizadas para dar sequência ao projeto, como por exemplo: Foi realizado um levantamento de todas as informações necessárias para a coleta de dados; foram analisadas as formas de cálculo dos dados coletados; foi realizada uma manutenção preventiva na máquina de corte, com o objetivo de ajustar qualquer peça que poderia influenciar no momento do corte da espuma; teve início a coleta de dados referente a temperatura ambiente; foi levado em consideração o setup durante o processo de redução nas dimensões dos blocos.

6.3 Coleta de dados

Após o término da primeira análise, outras informações foram incluídas a folha de verificação, como por exemplo, o horário de produção dos blocos de espuma. Esta informação é adquirida somente na etiqueta de produção do bloco, não ficando salva em nenhum sistema ou planilhas, ela só é gerada no momento de produção do bloco, em seguida essa informação se perde. No momento de produção de espuma, outra informação não é salva, a temperatura ambiente em que o bloco de espuma é produzido. Por este motivo foi necessário realizar o acompanhamento diário da temperatura ambiente no setor de produção de espuma. Com o auxílio de um equipamento utilizado na medição de temperatura de blocos cilíndricos (Termopar), foi acompanhada a temperatura ambiente de produção. O termopar é um equipamento na forma de um espeto, que é espetado dentro dos blocos de espuma, para medir sua temperatura interna. Para o seguinte estudo, ele foi colocado estrategicamente próximo ao local de produção, para medir a temperatura ambiente de produção. O termopar transmite sinais em períodos de 5 minutos, para um sistema chamado Data Live, onde é possível acompanhar a variação de temperatura. Com os dados coletados sobre o horário de produção de cada bloco,

Figura 21: Planilha coleta de dados 1

Cascão													
Ponta 1 (cm)			Ponta 2 (cm)			Soma mínimo	Soma máximo	Temperatura (°C)	Horas	Estanho (kg)	TDI	Densidade	
2	3,5	2,75	2,5	4,5	3,5	4,5	8	27,5	16:27:00	0,39	BORSODCHEM	D13	
3	3,5	3,25	2,5	4,5	3,5	5,5	8	27,25	16:21:00	0,39	BORSODCHEM	D13	
1,5	2	1,75	3	4	3,5	4,5	6	26,25	18:13:00	0,31	COVESTRO	D13	
1	2	1,5	3,5	5	4,25	4,5	7	26,5	18:07:00	0,31	COVESTRO	D13	
0,5	2	1,25	4,5	6,5	5,5	5	8,5	29,25	15:48:00	0,31	WINHUA	D13	
1	2	1,5	3,5	5	4,25	4,5	7	29,25	15:42:00	0,3	WINHUA	D13	
1,5	2	1,75	4	5,5	4,75	5,5	7,5	31,5	15:10:00	0,3	WINHUA	D13	
2	2,5	2,25	1	2	1,5	3	4,5	32	17:16:00	0,27	COVESTRO	D13	

Fonte: Autor

A planilha acima foi dividida em duas partes para uma melhor compreensão, abaixo será descrito a forma de cálculo para cada dado da planilha:

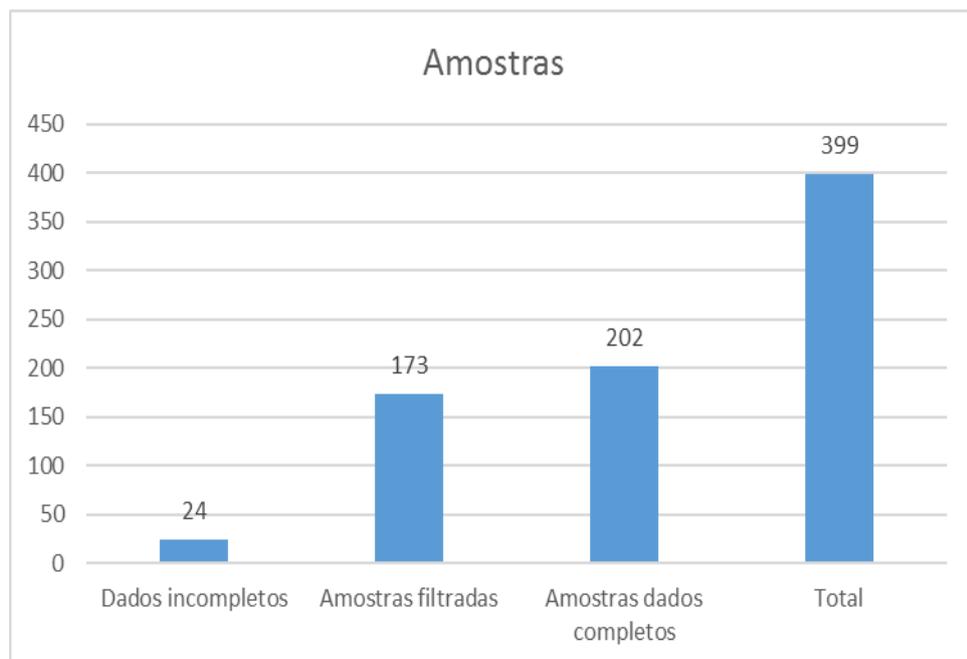
- **Bloco:** É a descrição do corte que será realizado no bloco que o cliente solicitou. Na planilha acima todas as descrições são de 1 toco de 2,50 x 1,90 m, desta forma o bloco limpo nas pontas (sem o cascão) terá 5 metros, adicionando 18 cm no comprimento, e considerando a medida padrão citada anteriormente, o bloco foi produzido com 5,18 de comprimento, pelo fato do bloco encolher no processo de cura, e pela retirada do cascão no momento do corte. A descrição de corte (bloco) diz que o cliente solicitou 1 toco de 2,50 x 1,90, ou seja, o outro toco será levado para o estoque.
- **Comprimento do corte:** É descrição do bloco limpo nas pontas e já encolhido, ou seja, a descrição do corte em que o cliente solicitou no bloco.
- **Comprimento + cascão:** É o somatório entre o comprimento de corte e o cascão retirado.
- **Comprimento:** É o somatório entre o comprimento do corte, mais a soma mínima.
- **Encolhimento:** É somatório entre o comprimento do corte e 18 cm, medida padrão para blocos “pontas limpas”, menos a “soma mínima”.

$$\text{Encolhimento} = (\text{Comprimento corte} + 18 \text{ cm}) - \text{Comprimento}$$

- **Soma mínima:** É o somatório entre as menores medidas encontradas em cada cascão do bloco.

Existiu uma dificuldade com relação a coleta de dados a respeito do TDI, pois nos últimos meses, devido a problemas logísticos e armazenamento, foram misturados e colocados vários TDI's no mesmo tanque de armazenagem, deste modo não tendo uma coleta de dados muito eficiente com relação ao TDI utilizado para a produção de cada bloco. É importante citar que mesmo com certas dificuldades e limitações, foi possível coletar dados seguros referente aos TDI's utilizados. Para o estudo foram coletadas 399 amostras de dados (Figura 23), das quais 24 foram descartadas pois não foi possível coletar todas as informações devido alguma falha na produção, restando 375 amostras com todos os dados completos. Destas, em 202 amostras foram produzidas com misturas de TDI de mais de um fornecedor. As outras 173 que possuem todos os dados completos, e foram produzidas com TDI de apenas um fornecedor, permitiram a análise da influência do TDI quanto ao fornecedor, e foram chamadas “filtradas”.

Gráfico 1: Histograma - Amostra coletada 1



Fonte: Autor

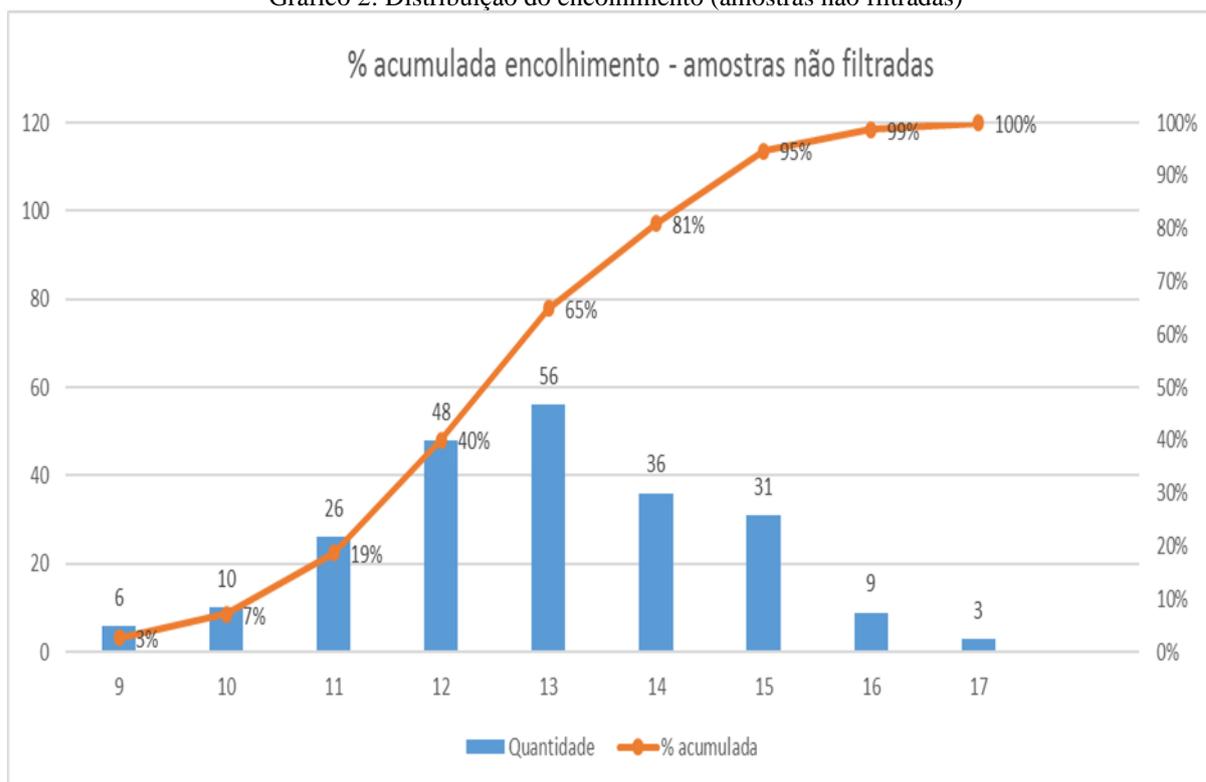
6.4 Estratificação de dados

Após a coleta de dados descrita no tópico 6.3, foi realizada a estratificação dos dados, com objetivo de conhecer o comportamento de encolhimento das espumas. Alguns gráficos foram criados para analisar o comportamento do encolhimento.

6.4.1 Análise 1

A primeira análise visou identificar quanto da folga de 18 cm estava sendo excessiva. Para isso, foi construído um gráfico de Pareto, a partir de um histograma da variação do encolhimento. Esta análise considerou a totalidade das amostras com dados completos (amostras não filtradas, incluindo as produzidas com TDI misturado) (Figura 22). A partir deste gráfico, observou-se que a concentração ocorre em 13 cm de encolhimento, mas há encolhimento menos comuns de até 17 cm, de forma que apenas uma redução de 1 cm na folga deixada seria segura para todos os casos. Caso se reduza para 2 cm a folga deixada, já vai haver casos (1% dos blocos) que não poderão ser limpos conforme os especificados pelo cliente, ou terão de ser rejeitados. Correndo um risco de rejeitar 5% dos blocos ou entregá-los fora das especificações, é possível reduzir a margem de folga para 15 cm.

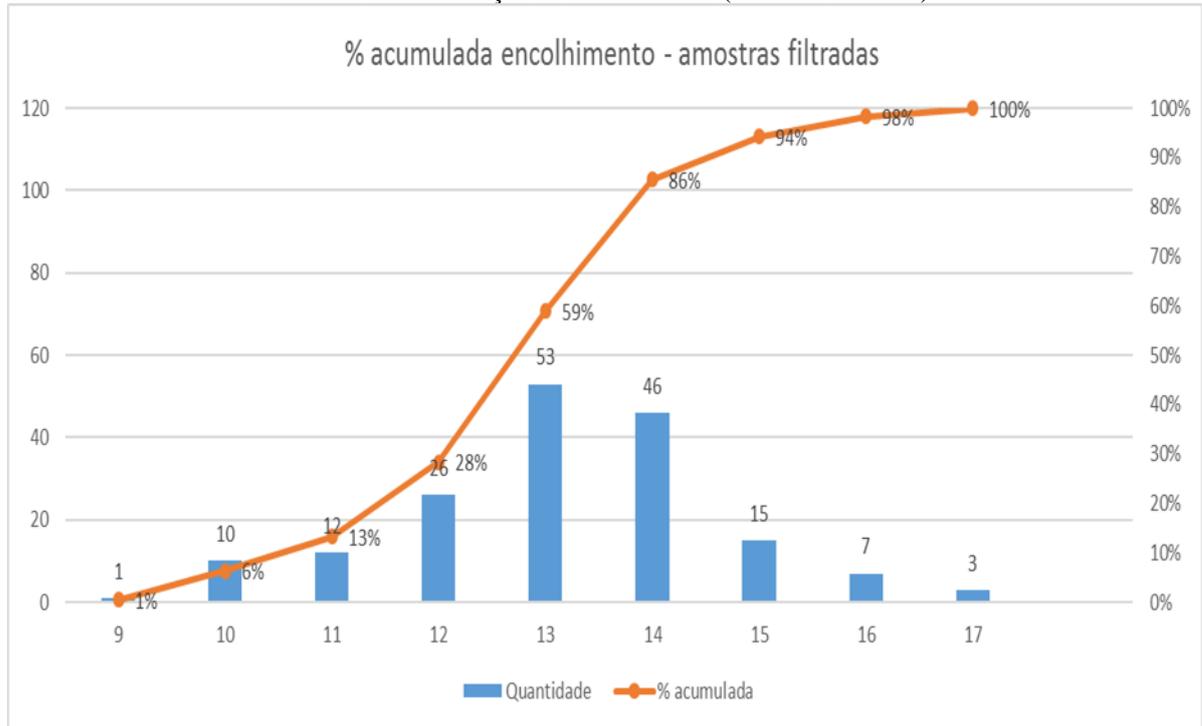
Gráfico 2: Distribuição do encolhimento (amostras não filtradas)



Fonte: Autor

A mesma análise foi feita a partir dos dados filtrados (apenas amostras com apenas um fornecedor de TDI), conforme ilustrado na Gráfico 3.

Gráfico 3: Distribuição do encolhimento (amostras filtradas)



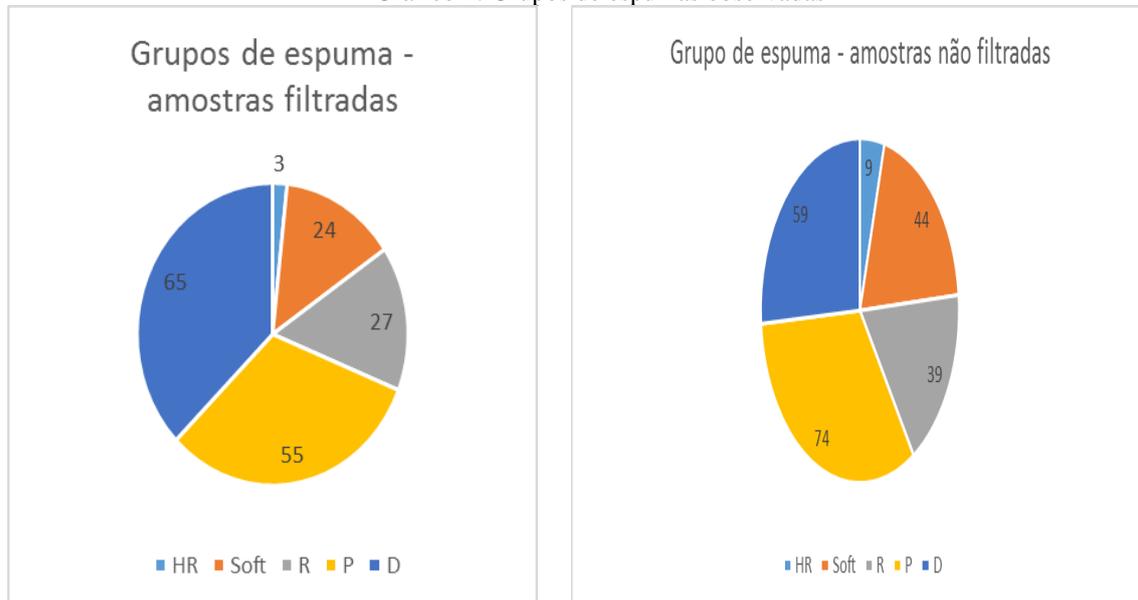
Fonte: Autor

O comportamento referente aos dois gráficos é muito semelhante, onde o grande número de amostras com encolhimento varia de 13 a 14 cm, deste modo existindo um cascão de 5 a 4 cm. Apesar de não haver uma faixa segura para redução na margem de folga geral para blocos, é possível observar que cerca de um terço dos blocos apresentam encolhimento entre 9 a 12 cm, produzindo cascões com no mínimo 6 cm. A fim de tentar identificar em quais condições ocorre a geração de cascões até grandes dimensões, foram analisados os encolhimento para diferentes agrupamentos de espuma.

6.4.2 Análise 2

Esta análise teve como objetivo identificar relação no encolhimento dentro do mesmo grupo de espuma, verificando se as mesmas possuem alguma variação e comportamento padrão em cada grupo. Os grupos estudados foram, D, HR, P, R e S, abaixo temos o número de amostras utilizadas no estudo, também deve levar em consideração as amostras não filtradas (TDI's misturados), pois as mesmas devem ser analisadas, com o intuito de identificar alguma relação e comparação entre amostras filtradas.

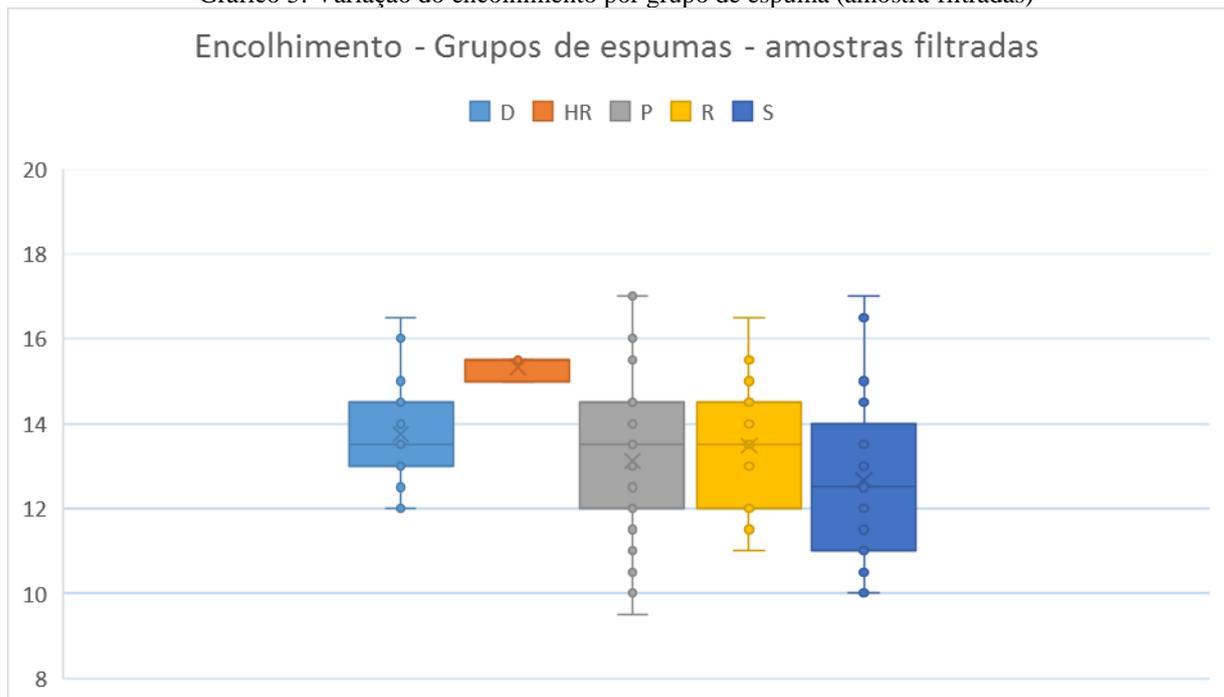
Gráfico 4: Grupos de espumas observadas



Fonte: Autor

Após a classificação das amostras por grupo de espuma, foi realizada a análise do encolhimento por meio do gráfico Boxplot, considerando somente as amostras com TDI de apenas um fornecedor, conforme ilustrado no Gráfico 5.

Gráfico 5: Variação do encolhimento por grupo de espuma (amostra filtradas)

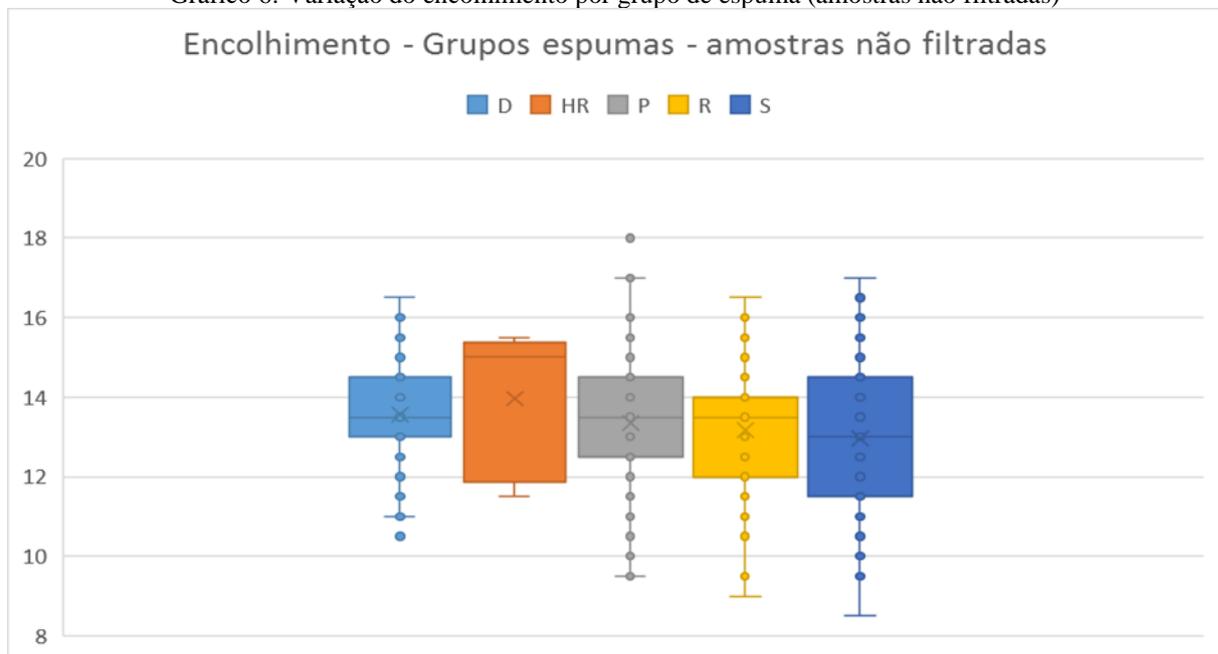


Fonte: Autor

É possível perceber que a maioria dos grupos, com exceção da HR, possuem uma variação muito grande entre seus máximos e mínimos, com uma grande variação de encolhimento entre os blocos e muitos pontos *outliers*. A mediana de todos os grupos, com exceção novamente do HR, está localizada próximo e entre 13,5 – 14 cm de encolhimento, deste modo indicando que os blocos estão tendo um cascão em média de 4 a 5 cm, estando dentro das medidas desejada pela empresa. O grupo de espumas que apresentou a menor variabilidade foi HR, podendo estar relacionado ao menor números de amostras coletadas (3 amostras), o grupo que apresentou menor amplitude dos dois quartis centrais foi D porém ainda com os demais pontos apresentando grande dispersão.

Foi realizada a mesma análise para amostradas não filtradas (TDI's misturados) (Figura 26), com o objetivo de encontrar diferenças em seu comportamento de encolhimento, para que possa comprovar correlação nas diferenças de TDI's utilizados. Ao realizar o gráfico não foi possível encontrar uma correlação evidente, pois o comportamento do gráfico se manteve similar entre os grupos, não sendo possível afirmar que o encolhimento maior ou menor seja características determinado tipo de espuma.

Gráfico 6: Variação do encolhimento por grupo de espuma (amostras não filtradas)



Fonte: Autor

A tabela 7 e a Tabela 8 trazem as características numéricas dos gráficos Boxplot do encolhimento por grupo de espuma (amostras filtradas e não filtradas, respectivamente).

Tabela 7: Características do encolhimento por grupo de espuma (amostras filtradas)

Tabela Boxplot - amostra filtradas					
	D	HR	P	R	S
Amplitude	4,5	0,5	7,5	5,5	7
Mediana	13,5	15	13,5	13,5	12,5
Simetria	Assimétrico +	Assimétrico -	Assimétrico -	Assimétrico -	Simétrico

Fonte: Autor

Tabela 8: Características do encolhimento por grupo de espuma (amostras não filtradas)

Tabela Boxplot - amostras não filtradas					
	D	HR	P	R	S
Amplitude	5,5	4	7,5	7,5	8,5
Mediana	13,5	15	13,5	13,5	13
Simetria	Assimétrico +	Assimétrico -	Simétrico	Assimétrico -	Simétrico

Fonte: Autor

Por meio dos gráficos e tabelas apresentadas acima, não foi possível identificar padrões de encolhimento marcantes entre os diferentes grupos de espuma. Foram feitas observações semelhantes a partir de grupos de temperatura de produção, marcas (ou misturas) de TDI, mas também não foi possível observar padrões a partir de uma característica, possivelmente devido a interação entre duas ou mais características.

6.5 Planejamento de experimentos

Como não foi possível identificar padrões de encolhimento com os dados coletados na produção normal dos blocos, devido ao fato de que suas características são definidas pelo cliente, e pelas condições gerais da produção, a próxima etapa do trabalho foi planejar e realizar experimentos variando-se determinadas características de forma intencional, a fim de analisar a influência isolada e combinada de tais características (fatores). Para isto, foi utilizada técnica de planejamento de experimentos (*Design of Experiments – DEO*), para experimentos fatoriais em dois níveis.

6.5.1 Definição dos objetivos

Conforme o procedimento experimental apresentado anteriormente, a primeira etapa foi definida os objetivos do estudo com o intuito de facilitar e direcionar o projeto.

- Reduzir os desperdícios de espuma durante o corte de espuma e remoção do cascão;
- Entender quais fatores tem influência sobre a espuma, durante a produção da mesma;
- Estabelecer um novo padrão de medida, para blocos que limpam os cascões das pontas;
- Propor melhorias nos setores em estudos;

6.5.2 Parâmetros do experimento

Atualmente no processo de espumação existe um programa que calcula automaticamente a proporção necessária de produtos, para cada dimensão programada. Por este motivo não foi possível realizar experimentos relacionados a água e silicone, pois esses valores já são alterados automaticamente pelo sistema. Com relação a temperatura, por não ser um fator controlado pela empresa e por variar durante o dia e períodos do ano, o TDI por possuir vários fornecedores e existir variação na reatividade de cada marca, e o estanho por ser alterado devido a variação de temperatura, foram escolhidos para testa-los e observar os seus comportamentos. A espuma escolhida para o estudo foi D20AS, pois foi a espuma com o maior número de amostras coletadas e por ser a mais produzida durante o projeto. A seguir temos os fatores escolhidos com seus respectivos níveis, para o planejamento de experimentos 2^3 (tabela 9):

Tabela 9: Fatores testados nos experimentos e seus níveis

Fatores	Níveis	
	-1	1
Temperatura Ambiente	29°C	34°C
TDI	Dow	Wanhua
Estanho	0,50 g	0,59 g

Fonte: Autor

Os níveis escolhidos para os fatores do seguinte experimento foram:

- TDI: Wanhua e Dow. De acordo com os operadores, o TDI do fabricante Wanhua é menos reagente durante o processo químico, desta forma sendo necessário compensar na quantidade de outras matérias primas. Já o TDI Dow, é considerado

mais reagente durante o processo químico de produção, sendo assim necessário reduzir a quantidade de matéria prima utilizada. Outras 3 marcas foram observadas na produção, mas não estavam disponíveis para serem usadas nos experimentos.

- Estanho: Cada bloco de espuma possui proporções diferentes de matéria prima utilizada, essas quantidades variam conforme o tamanho do bloco a ser produzido, ou a densidade produzida. Para o estanho não é diferente, os níveis de estanho escolhido foram baseados na porcentagem de variação de estanho permitida sem que a espuma produzida perca suas características, propriedades físicas e químicas. Essa quantidade pode variar em mais ou menos 15%. Para o seguinte experimento foi reduzido 15% da quantidade normalmente utilizada, ou seja, foi reduzido 15% de 0,59 g, obtendo-se, para o outro nível, 0,50g de estanho.
- Temperatura Ambiente: A temperatura é o maior obstáculo do experimento, pois não é possível controlá-la perfeitamente nas instalações disponíveis na fábrica, uma vez que o setor de produção não possui um sistema de exaustão, relacionado ao controle de temperatura ambiente. Portanto o experimento foi baseado nas maiores diferenças de temperatura encontradas dentro do setor de produção no período disponível para a realização dos experimentos. Devido a estação de altas temperaturas, a diferença de temperatura para o experimento foi de apenas 5 °C.

6.5.3 Realização do experimento

Devido ao produto em estudo ser em grandes dimensões e possuir um elevado custo, os experimentos foram feitos em proporções menores, de forma que as dimensões do caixote para a produção dos blocos de espuma em estudo são 30 cm x 25 cm x 25 cm. Ao realizar a produção dos blocos, os mesmos ficaram dois dias no setor de cura, para simular da melhor forma possível, as condições reais de produção. A matriz abaixo representa a matriz experimental, com as combinações dos níveis dos fatores que foram testados na primeira rodada de experimentação (tabela 10):

Tabela 10 – Matriz experimental

Matriz experimental - primeira rodada			
Teste	TDI	Estanho (g)	Temperatura Amb.
1	Dow	0,5	29 °C
2	Wanhua	0,5	29 °C
3	Dow	0,59	29 °C
4	Wanhua	0,59	29 °C
5	Dow	0,5	34 °C
6	Wanhua	0,5	34 °C
7	Dow	0,59	34 °C
8	Wanhua	0,59	34 °C

Fonte: Autor

Após a realização do experimento os blocos de espuma foram medidos, e em seguida levado para o setor de cura, onde ficaram por 36 horas. Após o período de cura, os blocos foram medidos novamente para analisar se houve variações no encolhimento, devido as combinações de fatores e níveis testados. A Tabela 11 apresenta os resultados encontrados para os 8 experimentos definidos:

Tabela 11: Resultado dos experimentos fatoriais

MATRIZ PLANEJAMENTO				MEDIDA - PRODUÇÃO		MEDIDA - APÓS CURA	Encolhimento cm	Redução %Comprimento
TESTE	TDI	Estanho	T. Amb	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)		
7	DOW	0,59	34 °C	29	24	28	1	3,45
8	Wanhua	0,59	34 °C	28,5	24,5	27,5	1	3,45
5	DOW	0,5	34 °C	28,5	24	28	0,5	1,72
6	Wanhua	0,5	34 °C	28,5	24	28	0,5	1,72
3	DOW	0,59	29 °C	29	24	28,5	0,5	1,72
4	Wanhua	0,59	29 °C	29	24,5	28,5	0,5	1,72
1	DOW	0,5	29 °C	29	24,5	28,5	0,5	1,72
2	Wanhua	0,5	29 °C	29	24	28	1	3,45

Fonte: Autor

6.5.4 Cálculo dos efeitos principais

Para analisar os resultados apresentados na Tabela 11, foram calculados inicialmente os efeitos principais de cada fator:

Efeito principal E_1 :

$$E_1 = (Y_2 + Y_4 + Y_6 + Y_8) / 4 - (Y_1 + Y_3 + Y_7 + Y_5) / 4 \quad (1.5)$$

$$E_1 = (0,5 + 1 + 1 + 0,5) / 4 - (0,5 + 1 + 0,5 + 0,5) / 4 = 0,125$$

Efeito principal E_2 :

$$E_2 = (Y_3 + Y_4 + Y_7 + Y_8) / 4 - (Y_1 + Y_2 + Y_5 + Y_6) / 4 \quad (1.6)$$

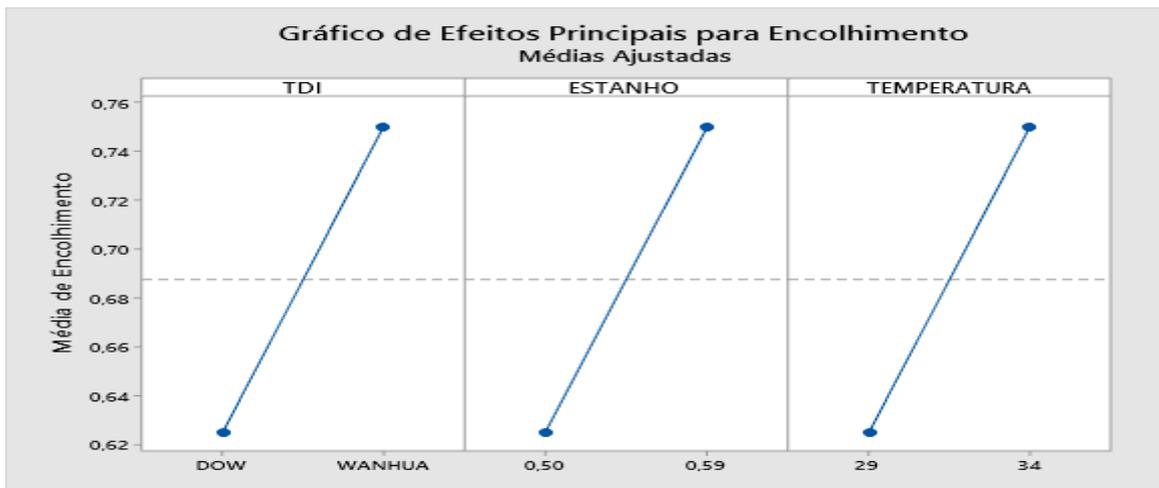
$$E_2 = (1 + 1 + 0,5 + 0,5) / 4 - (0,5 + 0,5 + 0,50 + 1) / 4 = 0,125$$

Efeito principal E_3 :

$$E_3 = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) / 4 - (Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8) / 4 \quad (1.7)$$

$$E_3 = (0,5 + 0,5 + 1 + 1) / 4 - (0,5 + 1 + 0,5 + 0,5) / 4 = 0,125$$

Abaixo temos os gráficos dos efeitos principais para o encolhimento:



Fonte: Autor

A partir dos efeitos principais, nota-se uma influência dos fatores escolhidos para os experimentos:

- Existindo maior encolhimento médio com TDI Wanhua em relação ao TDI Dow;
- Existindo maior encolhimento médio com maior nível de estanho;
- Existindo maior encolhimento médio com a temperatura mais elevada.

6.5.5 Cálculo efeito diretas e indiretas

Após o cálculo dos efeitos principais, foram calculados os efeitos de interação entre os fatores, dois a dois:

Efeito de interação E_{12} :

Tabela 12: Cálculo de efeitos de interação TDT x Temperatura ambiente

TDI . T.amb		
+1	x	0,5
-1	x	0,5
-1	x	1
+1	x	1

+1	x	0,5
-1	x	1
-1	x	0,5
+1	x	0,5
$E_{12} = -0,125$		

Fonte: Autor

Efeito de interação E_{13} :

Tabela 13: Calculo de efeitos de interação TDT x Estanho

TDI . Estanho		
-1	x	0,5
+1	x	0,5
-1	x	1
+1	x	1
+1	x	0,5
-1	x	1
+1	x	0,5
-1	x	0,5
$E_{13} = -0,125$		

Fonte: Autor

Efeito de interação E_{23} :

Tabela 14: Calculo de efeitos de interação Temperatura ambiente x Estanho

T.amb . Estanho		
-1	x	0,5
-1	x	0,5
+1	x	1
+1	x	1
+1	x	0,5
+1	x	1
-1	x	0,5
-1	x	0,5
$E_{23} = 0,375$		

Fonte: Autor

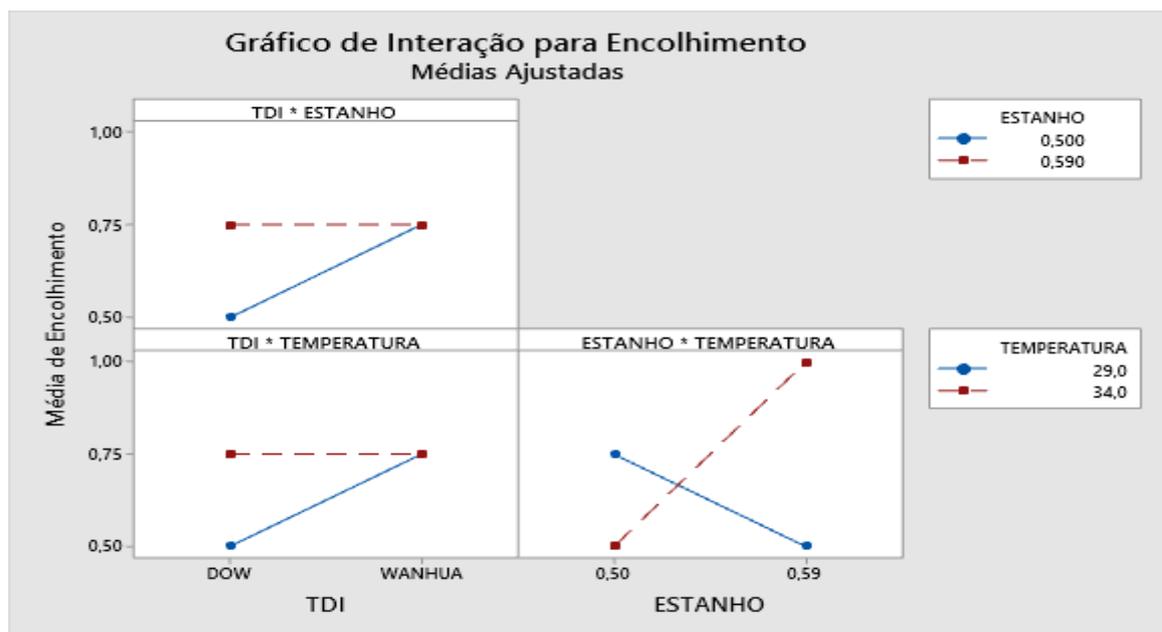
Efeito de interação E_{123} :

Tabela 15: Calculo de efeitos de interação TDI x Temperatura ambiente x Estanho

TDI. T.amb . Estanho		
-1	x	0,5
+1	x	0,5
+1	x	1
-1	x	1
+1	x	0,5
-1	x	1
-1	x	0,5
+1	x	0,5
$E_{123} = -0,125$		

Fonte: Autor

Após os cálculos de interações, foram construídos os gráficos com as seguintes interações:



Fonte: Autor

Ao analisar os gráficos de interação foi possível identificar alguns comportamentos relacionados ao encolhimento. A interação entre o TDI x estanho nos mostra que, o TDI Dow sofre uma influência direta da quantidade de estanho nos níveis experimentados, quanto mais estanho maior encolhimento. Por outro lado, o TDI Wanhua não apresenta um comportamento uniforme em relação à quantidade de estanho. O gráfico mostra que não houve variação média de encolhimento em decorrência da alteração na quantidade de estanho, mas ao observar os resultados individuais dos experimentos, observa-se houve variações nas amostras testadas, mas elas se anularam: a 29°, com TDI Wanhua, a maior quantidade de estanho promoveu um

encolhimento menor, ou seja, houve influência inversa. Já a 34°, e para o mesmo TDI Wanhua, a quantidade de estanho teve influência direta no encolhimento, ou seja, mais estanho, maior o encolhimento. Desta forma, não se pode chegar a uma conclusão generalizável quanto à interação destes fatores.

Com relação à interação entre TDI x temperatura, nos mostra que para a marca Dow quando ocorre uma mudança na temperatura, existe uma variação no encolhimento, onde quanto maior a temperatura, maior é o encolhimento. Para o TDI Wanhua, os encolhimentos não apresentam um padrão, variando entre 0,5cm e 1,0cm, porém, na média, esses efeitos se anulam novamente. Mais uma vez, não se pode chegar a uma conclusão generalizável quanto à interação destes fatores.

Para o gráfico de interação estanho x temperatura temos que ao manter constante a quantidade de estanho em 0,5 g e variar a temperatura, percebemos que quanto maior a temperatura menor será o encolhimento. Ao compararmos a variação de temperatura com a quantidade constante de estanho de 0,59 g, percebemos que há uma divergência no resultado anterior, pois quanto maior a temperatura, maior será o encolhimento. Se analisarmos de outra maneira, ao deixar a temperatura em 34°C, quanto maior a quantidade de estanho, maior será o encolhimento. Em contrapartida, se mantivermos os testes a temperatura de 29°C, quanto menor a quantidade de estanho, maior será o encolhimento. Para os níveis testados, observamos que, para obter menor encolhimento, à temperatura de 29°, é interessante utilizar mais estanho. Por outro lado, a 34°, utilizar mais estanho promove um encolhimento maior, assim, para obter menor encolhimento, seria interessante utilizar menos estanho quando a temperatura for maior, o que é compatível com as recomendações dos operadores descritas no item 6.1.1.

6.5.6 Análise de qualidade de espumas

Após a realização dos experimentos e suas análises, as espumas produzidas D20AS passaram por análises comparativas, a respeito de suas propriedades físicas após o processo de cura. Os testes realizados foram:

- Densidade: Verifica a quantidade de matéria prima utilizada para produzir 1 metro cúbico de espuma.
- Resiliência: É utilizada para medir a velocidade de retorno da espuma quando comprimida e indica o grau de conforto da espuma.
- Deformação permanente: Determina a perda de espessura da espuma quando submetida a compressão de 90 %, a uma temperatura de 70 ° C durante 22 horas.

- Indentação (suporte de carga): Verifica a dureza da espuma, que varia de acordo com densidade.

A tabela abaixo descreve os valores encontrados com relação aos testes no laboratório. Os códigos 3857 e 3856 são referentes ao TDI Dow; códigos 3858 e 3859 são referentes ao TDI Wanhua. Todos os testes seguiram a norma: ABNT NBR 13579-1:2011

Tabela 16 – Análise do laboratório das amostras testadas a 34°C

TESTES FÍSICOS	Norma Técnica	Unidades	RESULTADOS			
			3857	3856	3858	3859
Densidade	NBR 8537	kg/m ³	21,4	21,6	22,9	21,3
Resiliência	NBR 8619	%	34,4	32,9	28,2	28,7
Deformação Permanente à Compressão de 50%	NBR 8797	%	37,4%	27,8%	14,6%	18,5%
Força de Indentação à 40%	NBR 9176	N	74,4	72,1	148,3	101,5
Fator Conforto 65/25	NBR 9176	-	2,3	2,4	2,3	2,2
Teor de Cinzas	NBR 14961	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Autor

Tabela 17 – Relação códigos laboratório

MATRIZ PLANEJAMENTO				
TESTE	TDI	T. Amb	Estanho	Relação códigos
7	DOW	34 °C	0,59	3857
8	Wanhua	34 °C	0,59	3858
5	DOW	34 °C	0,5	3856
6	Wanhua	34 °C	0,5	3859

Fonte: Autor

Entre os testes 3857 e 3856 há uma diferença de 15% na quantidade de estanho, assim como entre os testes 3858 e 3859. As densidades permaneceram próximas com exceção do teste 3858. Na resiliência nota-se que entre os testes 3857 e 3856, houve uma variação pequena, recorrente da diferença da quantidade do estanho. Já nos testes com TDI Wanhua, essa diferença é muito menos expressiva. Os testes com as maiores quantidade de estanho (3857 e 3858), apresentaram uma Força de Indentação 40% maior em relação aos testes (3856 e 3859) com menor quantidade de estanho. Ainda se observa que as espumas produzidas com TDI Wanhua apresentaram uma Força de Indentação, aproximadamente, 40 % maior que as espumas produzidas com TDI Dow. Isso nos mostra que a variação da marca de TDI pode acarretar em características de conforto e qualidade diferentes para uma mesma espuma.

7. Considerações finais (conclusão)

Este trabalho tinha por objetivo principal “Reduzir os desperdícios de espuma de boa qualidade durante a produção dos blocos, removida durante o corte dos cascões dos blocos de espumas, durante a produção e o corte da mesma”. Com base nas análises dos dados, coletados da produção e dos experimentos realizados, não foi possível redefinir as margens de folga na produção de blocos de espumas, pois não foi possível identificar um padrão de comportamento de encolhimento seja por grupo de espuma ou por fatores de produção como temperatura ambiente, fornecedor de TDI ou quantidade de estanho utilizada. Assim, apesar das margens de folga para relaxamento e retirada dos cascões dos blocos de espuma parecerem grandes e produzirem uma grande quantidade de material a ser descartado, foi verificado que, elas são necessárias para evitar a rejeição de blocos inteiros ou a entrega de produtos fora das dimensões especificadas pelos clientes.

Por outro lado, com exceção do último objetivo específico “propor soluções para os desperdícios de espuma, por meio de reduções nas medidas de espumas, e alterações nos padrões de medidas existentes”, todos os outros objetivos intermediários foram realizados. Foram levantados e analisados dados de produção referentes à geração de cascões, foram identificados fatores que agem sobre o bloco durante a produção, e realizados estudos de correlações referentes a estes fatores a partir dos experimentos fatoriais.

Com relação ao experimento fatorial realizado, foi possível identificar uma influência da marca de TDI no encolhimento dos blocos de espuma, essa influência não se resume somente no encolhimento, mas também nas qualidades e outras características da espuma analisadas no item (6.5.7). Aparentemente o TDI da marca Dow possui um comportamento mais previsível, visto que as variações de temperaturas (29 °C – 34 °C), estanho (0,50 g – 0,59 g) tiveram influência no encolhimento dos blocos. Por sua vez os encolhimentos nas amostras testadas com TDI Wanhua não variam de forma previsível, ora apresentando relação direta, ora relação inversa. O TDI vem sendo adquirido de vários fabricantes diferentes, devido às informações dos fornecedores. No setor de produção, os operadores já haviam sentido que o desempenho das diferentes marcas não é uniforme, o que gerava um certo conflito de opiniões entre os setores de produção e compras. Mas a partir dos experimentos, foi constatado que a diferença de desempenho é um fato e a partir de então obteve-se um consenso de que a padronização das receitas deve considerar a marca utilizada. Este será um trabalho futuro na empresa, decorrente do presente estudo.

Algumas limitações ocorreram durante o projeto, impossibilitando de atingir um resultado mais conclusivo em relação as interações dos fatores estudados. Uma delas foi a demora na liberação para realização dos experimentos e a impossibilidade de repetição dos experimentos realizados, deste modo trazendo alguma desconfiança sobre os dados obtidos, já que estes não foram confirmados a partir de replicação.

Outra limitação foi a restrição no número de fatores e no número de níveis testados. Seria importante poder testar todas as cinco marcas de TDI atualmente em uso na fábrica. Também seria interessante variar o nível de estanho dentro da faixa de 15% para menos e para mais, para verificar se a influência nesta faixa é linear e constante, ou se a influência é mais complexa. Outro ponto mais importante do que a variação do estanho, seria ter testado as propriedades de encolhimento e outras em uma faixa de temperatura que representasse melhor as condições encontradas na produção ao longo do ano, já que este demonstrou ser um fator importante. Estudos futuros podem ser conduzidos no sentido de compreender melhor a influência da temperatura ambiente nas propriedades da espuma e de identificar os níveis de fatores como TDI e estanho para corrigir essa influência, no sentido de obter espumas com propriedades mais previsíveis e homogêneas.

Devido às limitações encontradas durante o projeto, algumas sugestões de trabalhos futuros foram sugeridas para empresa, como por exemplo, um estudo mais aprofundado com relação aos experimentos fatoriais, utilizando outros métodos durante o projeto, para concluir em um resultado mais exato a respeito de encolhimento dos blocos de espumas. Para isso deve ter a possibilidades de mais repetições de experimentos, para termos dados mais seguros durante as análises gráficas de efeitos principais e interações. Outra sugestão foi a padronização de produtos químicos no processo produtivo, pois a grande variação dificulta a realização de projetos e dos próprios espumadores.

De qualquer forma, este estudo foi importante no sentido de obter um consenso na necessidade de padronização de alguns fatores de produção, e também sobre a importância de outros estudos sistemáticos para facilitar a produção de itens com a qualidade desejada.

8. REFERÊNCIAS

ALVES, I. B; MAIA, Mariana PF. Otimização dos Processos Produtivos de uma Malharia por meio da Aplicação do Design of Experiments. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

BOX, G. E. P., HUNTER, W. G. e HUNTER, J. S. 2005 Statistics for Experimenters, John Wiley & Sons, NY. 2005

BROPHY, Peter. COULLING, Kate. Quality Management for Information and Library Managers. Brookfiel: Aslib Gower, 1996.

BUTTON, S. T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados, 2016.

CARPINETTI, L. C. R. (2009). Planejamento e Análise de Experimentos Conceitos e Técnicas. São Carlos.

DOSSIÊ TÉCNICO: TECNOLOGIA DO POLIURETANO. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTM3>> Acesso em: 26 abril 2019.

FONTÃO, H. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS: aplicação de uma ferramenta Lean Seis Sigma para gestão empresarial em pequenos supermercados varejistas. 2008.

GALDÁMEZ, E.V.C. Aplicação das técnicas de planejamento e análises de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos. Dissertação (Mestrado) –Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2002

GUIA TÉCNICO DE ESPUMAS FLEXÍVEIS. Disponível em: < <https://www.univar.com/pt->>. Acesso em: 26 abril 2019.

LIMA, Viviane de. Estudo de catalisadores organometálicos na síntese de poliuretanos. 2007. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Tecnologia de Materiais – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LUCINDA, Marco Antônio. Qualidade: Fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Bradsport, 2010.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. Gestão da qualidade. 10ª ed. Rio de Janeiro: editoraFGV, 2010. PRODUÇÃO DE ESPUMAS FLEXÍVEIS DE POLIURETANA. Disponível em: <<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0811290074.pdf>> Acesso em: 26 abril 2019.

MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons, 3a edição, 1991.

QUÍMICA E TECNOLOGIA DOS POLIURETANOS. Disponível em: <<http://www.poliuretanos.com.br/>>. Acesso em: 27 abril 2019.

TRIVELLATO, Arthur Antunes. Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças. 73 F. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo, 2010.

VILAR W. D. Química e Tecnologia dos Poliuretanos, Vilar Consultoria Técnica Ltda, 1998/199, Rio de Janeiro.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. 1.ed. Belo Horizonte: WERKEMA, 2006.