

1

Introdução

1.1

Contextualização

Sabe-se que não é de hoje a grande exigência do mercado por produtos de qualidade e, com base nessa contínua exigência as empresas, cada vez mais, buscam meios de assegurar esta característica que se tornou intrínseca a produtos e processos.

A melhoria da qualidade quando obtida pode ser vista como um meio de alcançar resultados mais palpáveis aos empreendimentos que visam garantir competitividade. Tais resultados dizem respeito ao aumento da produtividade, aumento da confiabilidade, redução de custos, entre outros importantes aspectos técnicos e econômicos. Neste cenário, a metodologia de Planejamento e Análise de Experimentos – como um conjunto de métodos estatísticos – permite identificar e controlar as variáveis que afetam o bom funcionamento de produtos e processos.

O Planejamento e Análise de Experimentos ou Projeto de Experimento (*Design of Experiments*), além de estabelecer a identificação e controle da variável (ou conjunto de variáveis) que tem maior influência no desempenho de um dado produto ou processo, permite ao experimentalista criar condições de melhoria contínua, uma vez que o dinamismo das mudanças no processo deixa de ser uma barreira intransponível para um sistema bem planejado.

O ato de planejar um experimento é importante também para a obtenção de resultados consistentes. Reforçar este aspecto incide sobre as dificuldades enfrentadas em grande parte por experimentalistas de práticas industriais, que muitas vezes por desconhecimento do processo, ou pouco domínio de ferramentas estatísticas, geram resultados enganadores ou incompletos. O correto entendimento e aplicação dos princípios básicos (replicação, blocagem e aleatorização) de um planejamento experimental é um exemplo de como se pode

evitar a priori esse tipo de resultado, uma vez que a decisão em executar na prática estes três princípios está restrita às condições reais em que será desenvolvido o experimento, as limitações de custo e o que se pretende priorizar na análise experimental.

No contexto de uso da metodologia de planejamento de experimentos, a aleatorização é um ponto fundamental ao uso dos métodos estatísticos em todo projeto experimental. De um modo geral, os métodos estatísticos requerem que as observações (ou erros) sejam variáveis aleatórias independentemente distribuídas e, comumente a aleatorização valida esta hipótese.

Discussões sobre a importância de executar um experimento aleatorizado sempre foram abordadas em função do uso de métodos estatísticos para a validação dos resultados, contudo a ênfase na necessidade de reinicializar os níveis dos fatores é recente na literatura. Menções sobre a presença de fatores cuja mudança dos níveis pode ocorrer facilmente ou não, já têm sido abordadas por muitos estudiosos, que justificam a utilização de determinados projetos experimentais caracterizados pela existência desses fatores.

Entretanto, optou-se por agregar a este trabalho a visão teórica sobre a temática, pela necessidade de compreender quais as possíveis classificações dos experimentos quando o assunto é a restrição em aleatorizá-los; exemplificar os casos na literatura que levaram em consideração este aspecto no momento de planejar o experimento; e por fim, a visão prática apresentando as informações experimentais obtidas de um estudo de caso na indústria e aplicando diretamente os conceitos levantados.

1.2

Objetivos do trabalho

1.2.1

Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é propor diretrizes para a execução de experimentos fatoriais 2^k que apresentam restrições na aleatorização experimental. Faz parte ainda desse objetivo, apresentar um estudo de caso na indústria,

classificá-lo quanto à restrição na aleatorização e analisá-lo estatisticamente com vistas à otimização da resposta.

Este objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

1.2.2

Objetivos Específicos

- Compreender as técnicas de planejamento e análise de experimentos em alguns casos da literatura que apresentam restrição na aleatorização;
- Propor orientações para a compreensão das restrições na aleatorização em experimentos fatoriais;
- Apresentar as classificações de experimentos fatoriais no que tange a aleatorização experimental;
- Apresentar um estudo de caso experimental na indústria, classificá-lo e analisá-lo estatisticamente quanto à restrição na aleatorização.
- Identificar no estudo de caso o modelo que melhor representa os dados em termos de otimização da resposta, considerando e desconsiderando a restrição na análise estatística do experimento.

1.3

Justificativa do trabalho

Muitas abordagens feitas na literatura sobre experimentos industriais e científicos utilizando equipamentos não discutem a necessidade de reinicializar níveis dos fatores independentemente de uma corrida experimental para outra. Entretanto, não reinicializar os níveis de um ou mais fatores tornam os experimentos mais econômicos de executar porque uma grande fração do custo pode estar associada à mudança dos níveis dos fatores “difíceis de mudar”.

Alguns autores mencionam que reinicializar os níveis dos fatores é essencial se uma questão científica está sendo analisada. Entretanto, para o processo de melhoria desejado pelas empresas, algumas imprecisões nas análises podem ser aceitas por causa do baixo custo de executar o experimento quando não reinicializado.

A importância de utilizar um estudo de caso experimental está diretamente vinculada à necessidade de compreender o que deve ser priorizado na análise de experimentos industriais e qual a ordem de corrida mais adequada a essas prioridades. A restrição quanto à aleatorização no projeto experimental é justamente o que distingue os tipos de cenários de ordem de corrida. Mas ao se falar de experimentos restritos deve-se também dar uma ênfase especial às características dos fatores que estão sendo trabalhados no experimento e como este conjunto (características dos fatores, restrições na aleatorização, etc.) conduz ou não a um resultado melhor, neste caso relacionado à otimização da resposta.

1.4

Metodologia adotada na pesquisa

Em grande parte dos casos, os objetivos propostos pelos trabalhos científicos permitem classificá-los quanto à abordagem utilizada para a resolução dos problemas levantados. A partir desse ponto de vista, há três grupos de estudo que podem classificar uma pesquisa: estudo exploratório, descritivo e explicativo.

Faz-se uso dos estudos explicativos para identificar os fatores que contribuem ou influenciam a ocorrência de um fenômeno, ou também para determinar através da razão o fundamento das coisas. Já um estudo descritivo tem como objetivo a descrição das características de um determinado fenômeno, assim como o estabelecimento de relações entre variáveis e fatos.

Segundo Vergara (1997) uma pesquisa exploratória é aquela realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado e que, pela sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que, podem surgir durante ou ao final da pesquisa. Constitui-se, muitas vezes, como a primeira etapa de uma investigação que será mais aprofundada.

Segundo Gil (1991), o método de estudo de caso, além de produzir recursos para novas proposições, tem caráter essencialmente exploratório, sendo recomendável nas fases iniciais de uma investigação de temas complexos, objetivando a construção de hipóteses ou reformulação dos problemas.

Dentre estas definições pode-se classificar inicialmente esta pesquisa como descritiva e explicativa. Descritiva porque o caminho utilizado para desenvolvê-lo consistiu inicialmente do levantamento bibliográfico dos principais

casos na literatura que abordam a restrição na aleatorização experimental. Esse levantamento permitiu a definição de diretrizes iniciais para a identificação e classificação de experimentos cuja aleatorização ocorre de forma restrita. Por sua vez explicativa, pela utilização de um planejamento experimental para exemplificar de maneira direta os pontos abordados no levantamento bibliográfico. Contudo, esta pesquisa também tem seu caráter exploratório, no que tange a utilização de dados de um estudo de caso experimental na indústria, fornecidos pela empresa parceira, e desenvolvendo-se a partir disso a análise estatística, com a utilização do *software* estatístico *Design Expert* versão 7.1.4, para explicar as proposições de considerar a restrição quanto a aleatorização experimental para obtenção da resposta ótima.

Segundo Martins (1994) o trabalho de um estudo de caso é precedido pela exposição do problema de pesquisa; do enunciado das proposições que compõem a teoria preliminar que será avaliada a partir dos achados da pesquisa; de uma plataforma teórica; de um planejamento detalhado, contando descrição de instrumentos de coleta de dados e evidências, estratégias de coleta e análise dos dados, possíveis triangulações de dados, prováveis encadeamentos de evidências e avaliações da teoria previamente admitida, com a finalidade de se construir uma teoria para explicação do objeto de estudo: o caso. Nesse contexto a utilização de um estudo de caso como exemplificação objetivou obter informações consistentes sobre a temática, uma vez que esses subsídios foram extraídos de um relatório de consultoria consolidado e bem estruturado.

1.5

Estrutura do trabalho

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

No **capítulo 2** serão vistos os conceitos fundamentais para a execução de planejamentos experimentais, a relação entre alguns desses conceitos e exemplificações. Contudo, o foco principal consiste em estabelecer uma orientação inicial para os casos em que ocorrem restrições quanto à aleatorização experimental, introduzindo o ponto de vista de alguns estudiosos sobre o assunto.

O **capítulo 3** aborda a aplicação dos conceitos de experimentos restritos no que tange a aleatorização das ordens de corrida experimental discutidos no

capítulo 2 e caracteriza o conceito de restrição em aleatorização com a utilização de um estudo de caso que será classificado e analisado estatisticamente. Fez-se também uma breve caracterização da empresa e uma breve descrição do processo produtivo do setor de laminação a frio para melhor compreensão das variáveis abordadas.

No **capítulo 4** apresenta-se a finalização do trabalho através de uma discussão geral das vantagens e limitações do estudo, e fazem-se indicações de possíveis abordagens futuras tendo este estudo como base.