



229

PESQUISA INTERVENCIONISTA COM EXPERIMENTO DE CAMPO (DOE) VALIDANDO FATORES GERADORES DE PERDAS EM PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS

Mestre/MSc. Aleksandro Toaldo [ORCID iD](#), Doutor/Ph.D. Arnaldo Rabello Vallim Filho [ORCID iD](#)

Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brazil

Mestre/MSc. Aleksandro Toaldo

[0000-0003-3132-9020](#) Programa de Pós-Graduação/Course Doutorado Profissional em Controladoria e Finanças

Doutor/Ph.D. Arnaldo Rabello Vallim Filho

[0000-0003-4100-4975](#) Programa de Pós-Graduação/Course Mestrado e Doutorado em Finanças e Controladoria

Resumo/Abstract

Propósito – Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma pesquisa intervencionista, através de um experimento de campo em uma indústria no segmento de embalagens (latas) premium de alumínio, localizada nos Estados Unidos.

Desenho/Método/Abordagem: Este estudo é baseado na pesquisa intervencionista, que é um tipo de experimento de campo onde o pesquisador não tem controle total sobre o experimento e busca experimentar por meio da observação, atuando em conjunto com a organização anfitriã.

Resultados: Em estudo anterior foi possível identificar as variáveis de maior impacto na geração de sucata no processo de produção de latas de alumínio. Essas variáveis foram testadas e validadas no presente estudo, através de um experimento de campo em uma das linhas produtivas da empresa.

Limitação da Pesquisa/Implicações: A principal limitação foi a amostra utilizada no experimento de campo, correspondente a uma linha de produção e experimento em dois produtos específicos por um curto espaço de tempo. Pesquisas futuras envolvem estudos longitudinais para avaliar os resultados da pesquisa intervencionista.

Implicações Práticas: A pesquisa contribui tanto em relação à questão prática quanto a acadêmica. Apesar de amplamente utilizadas em diferentes áreas, as pesquisas intervencionistas e experimento de campo ainda apresentam uma lacuna importante nas ciências sociais, principalmente na controladoria de processos industriais. O modelo apresentado pode ser replicado em uma escala maior, na própria empresa em outras linhas de produção, bem como em empresas do mesmo segmento ou ainda naquelas empresas que estejam passando por desafios de eficiência em seus processos produtivos.

Modalidade/Type

Artigo Científico / Scientific Paper

Área Temática/Research Area

Controladoria e Contabilidade Gerencial (CCG) / Management Accounting



PESQUISA INTERVENCIONISTA COM EXPERIMENTO DE CAMPO VALIDANDO FATORES GERADORES DE PERDAS EM PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS

RESUMO

Propósito – Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma pesquisa intervencionista, através de um experimento de campo em uma indústria no segmento de embalagens (latas) *premium* de alumínio, localizada nos Estados Unidos.

Desenho/Método/Abordagem: Este estudo é baseado na pesquisa intervencionista, que é um tipo de experimento de campo onde o pesquisador não tem controle total sobre o experimento e busca experimentar por meio da observação, atuando em conjunto com a organização anfitriã.

Resultados: Em estudo anterior foi possível identificar as variáveis de maior impacto na geração de sucata no processo de produção de latas de alumínio. Essas variáveis foram testadas e validadas no presente estudo, através de um experimento de campo em uma das linhas produtivas da empresa.

Limitação da Pesquisa/Implicações: A principal limitação foi a amostra utilizada no experimento de campo, correspondente a uma linha de produção e experimento em dois produtos específicos por um curto espaço de tempo. Pesquisas futuras envolvem estudos longitudinais para avaliar os resultados da pesquisa intervencionista.

Implicações Práticas: A pesquisa contribui tanto em relação à questão prática quanto a acadêmica. Apesar de amplamente utilizadas em diferentes áreas, as pesquisas intervencionistas e experimento de campo ainda apresentam uma lacuna importante nas ciências sociais, principalmente na controladoria de processos industriais. O modelo apresentado pode ser replicado em uma escala maior, na própria empresa em outras linhas de produção, bem como em empresas do mesmo segmento ou ainda naquelas empresas que estejam passando por desafios de eficiência em seus processos produtivos.

PALAVRAS-CHAVE: pesquisa intervencionista, experimentos de campo, eficiência de processos industriais.

ABSTRACT

Purpose – This article is the development of an interventionist research, through a field experiment in an industry in the segment of premium aluminum packaging (cans) located in the United States.

Design/Method/Approach: This study is based on interventionist research, which is a type of field experiment where the researcher does not have full control over the



experiment and seeks to experiment through observation, acting together with the host organization.

Findings: Through a previous study, it was possible to identify the most important variables in the generation of scrap in the aluminum can production process, which were: machine speed, people, and their respective work shifts. In the present study, these variables were tested and validated in an interventionist research, through a field experiment in one of its production lines in the company object of this article.

Research limitations/implications: The main limitation was the sample, corresponding to one production line and experiment on two specific products for a short period of time. Future research involves longitudinal studies to evaluate interventional research results.

Practical Implications: Research contributes to both practice and scholarship. Despite being widely used, interventionist research and field experiments still present an important gap in the social sciences, mainly in controlling industrial processes. The presented model can be replicated on a larger scale, in the company itself, in other production lines, as well as in companies in the same segment or even those companies that are experiencing efficiency challenges in their production processes.

KEYWORDS: interventionist research, field experiments, industrial processes efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a segunda parte de uma pesquisa, mostrando um experimento de campo (pesquisa intervencionista) que foi desenvolvida no decorrer de uma tese de doutorado profissional em finanças e controladoria.

Antes de se adentrar ao tema do presente artigo é importante que se mostre um breve relato do estudo desenvolvido na primeira parte da pesquisa, para que se possa ter uma visão clara do que é apresentado agora na segunda parte da pesquisa.

Na primeira parte da pesquisa, com o apoio de técnicas de *machine learning* (ML) e do software *Rapid Miner* (RM), foi possível desenvolver uma proposta de uma metodologia para analisar dados, bem como identificar as variáveis relevantes na perda de eficiência em processos produtivos em uma empresa produtora de embalagens premium de alumínio, para 2 tipos de produtos, latas de bebidas de 28mm e 38mm.

A aplicação desenvolvida que tratou da geração de sucata em um processo de produção em uma empresa do mercado norte-americano, mostrou resultados satisfatórios para identificação dos fatores relevantes no processo de geração de sucata (scrap). E isto foi feito por meio de modelos baseados em algoritmos de ML, *Decision Tree* (DT), *Random Forest* (RF), *Gradient Boosted Tree* (GBT) e *Artificial Neural Network* (ANN).

Para as quatro técnicas utilizadas os modelos foram avaliados principalmente pelos índices de acurácia (*accuracy*) e *kappa*, além de outros indicadores complementares.

O índice *kappa* mede a representatividade dos resultados obtidos por meio dos modelos. Um índice *kappa* acima de 0,6 indica que os resultados obtidos são



estatisticamente significativos (Landis & Koch, 1977). E a acurácia mede o nível de precisão dos resultados (Landis & Koch, 1977).

Para as latas de 28mm, os índices de acurácia ficaram entre 79% e 99% e o Kappa entre 67,5% e 98,6%. O melhor resultado foi para o algoritmo DT, e o pior foi da ANN. No caso das latas de 38mm, os resultados foram semelhantes, sendo que o melhor, desta vez foi para o GBT, ficando o DT em segundo lugar. Ambos com valores bem altos, acima de 94% para a Acurácia e acima de 88% para o Kappa.

Naquela primeira parte da pesquisa, as técnicas de ML geraram adicionalmente pesos, associados à importância de cada variável para geração de sucata nas latas. Pela análise dos pesos de cada variável, verificou-se que as variáveis Pessoas, Velocidade da linha de produção e Tamanho e Espessura e Formato das latas se mostraram as variáveis mais relevantes na geração de sucata. Por outro lado, analisando-se os pesos especificamente no que tange as técnicas DT e RF, foi possível identificar que a variável mais importante foi aquela que se refere as datas específicas de cada lote de produção das latas. Neste caso, note-se que cada data específica tem por trás determinados fatores, que na verdade, são aqueles que efetivamente impactam a geração de sucata. O principal fator foi identificado, através de discussões conduzidas direto com os gestores responsáveis pelo chão de fábrica e melhoria contínua dos processos, em que foi confirmado que a data de produção está diretamente relacionada à alta rotatividade de colaboradores, e este é um fato que já vem ocorrendo há algum tempo. A empresa vem passando por importante desafios na retenção de seus colaboradores, principalmente aqueles que trabalham diretamente na produção das latas. E este fator impacta de forma importante a geração de sucata, uma vez que o treinamento desses colaboradores não chega a atingir os níveis de qualidade esperados, pois permanecem por pouco tempo na empresa.

Alguns fatores que estão contribuindo para essa alta rotatividade dizem respeito ao mercado de trabalho norte americano, que na linha do tempo mantem um percentual abaixo de 5% de desemprego, e logo, a competitividade natural na busca de profissionais qualificados é alta. Outro ponto, é a localização das instalações da empresa objeto deste estudo; uma região estratégica com um grande número de indústrias, onde a procura por profissionais experientes que trabalham no chão de fábrica é alta. A combinação destes fatores contribui para uma instabilidade e crescente *turn-over* dos colaboradores desde o ano de 2019.

Isso de fato dificulta a consistência do conhecimento para a fabricação de latas, pois se tratando de um processo contínuo e repetitivo que opera em 24x7 (vinte e quatro horas por sete dias na semana), o aprendizado é fortalecido pelo treinamento e prática contínua, consolidado pelos anos de experiência adquiridos por cada colaborador.

Seguindo a análise das variáveis mais importantes, verificou-se que as demais variáveis importantes são: *Line Speed – Actual*, correspondente a velocidade de cada linha produtiva, *FG_Class*, que define cada classe e tipo de lata fabricada, *Crew 4*, definido pelo grupo de turno de pessoas que trabalham na nas linhas de produção, *Time 2*, referente ao horário exato das produções das latas, *Slug 3*, referente ao tipo de matéria prima utilizada, que são todas variáveis controláveis, e portanto, passíveis de ajustes para melhoria do processo produtivo.



Como conclusão da primeira fase da pesquisa, as hipóteses: Pessoas, e seus respectivos turnos de trabalho, bem como, Velocidade da linha de produção foram analisadas e consideradas como variáveis principais na geração de sucata.

Entrando-se agora no objeto do presente artigo, este apresenta a segunda parte da pesquisa, que é uma continuidade do trabalho anterior baseado em ML, onde recomendou-se que estas variáveis encontradas fossem verificadas e experimentadas no chão de fábrica, por meio de uma intervenção no processo de produção de latas na empresa.

Assim, no presente artigo, os autores mostram a continuidade da pesquisa, em que foi conduzido um experimento de campo em uma das linhas de produção através da pesquisa intervencionista e tendo por base um delineamento de experimento de campo (DOE). Para a análise dos resultados foram desenvolvidas análises de variância (ANOVA) com o apoio do software R-Studio.

Todo esse experimento e as análises desenvolvidos representam o objeto das próximas seções.

2 PESQUISA INTERVENCIONISTA

Nesta seção, será feita uma introdução conceitual da pesquisa intervencionista que é a base da aplicação de campo que foi desenvolvida neste estudo.

A pesquisa intervencionista pode ser entendida como uma forma de estudo de caso, entretanto, a pesquisa intervencionista é mais ampla e pode ser vista como um grupo ou conjunto de métodos e técnicas de pesquisa. É um tipo de experimento de campo onde o pesquisador não tem controle total sobre o experimento e busca experimentar por meio da observação, atua em conjunto com a organização anfitriã, observa processos e resultados e analisa os achados à luz da literatura pertinente. (Roberts, Westin e Dumay, 2010); (Roberts e Jönsson, 2010).

O diferencial fundamental dessa abordagem é a interação entre os pesquisadores e o objeto de estudo, com possibilidades de transformação desse objeto de estudo. (Tiomatsu Oyadomari et al., 2013).

Diferentes autores, como Lukka e Vinnari (2017); Suomala e Lyly-Yrjänäinen (2012); e Suomala, Lyly-Yrjänäinen e Lukka (2014), colocam que a pesquisa intervencionista é uma abordagem de estudo de caso longitudinal com uso ativo da observação do participante, visando não apenas explicar, mas também interferir na realidade estudada para modificá-la.

2.1 Etapas da Pesquisa Intervencionista Proposta

Roberts e Jönsson, 2010 sugerem que a pesquisa intervencionista pode ser encontrada em várias disciplinas apresentando diferentes variações (nomenclatura, abordagens culturais, geográficas etc.), podendo se dar de formas distintas, como: Pesquisa-ação; Ciência-Ação; Ciência-Design; Pesquisa clínica e Pesquisa construtivista.

A pesquisa-ação é uma investigação de campo a partir da participação conjunta do pesquisador e da comunidade na qual a intervenção ocorre, e pode ser considerada como a origem da Pesquisa Intervencionista (JÖNSSON; LUKKA, 2007). A pesquisa intervencionista, portanto, pode ser entendida como uma das variações da Pesquisa Ação, mas que também envolve elementos da chamada pesquisa construtivista. E por isso, o estudo aqui desenvolvido foi centrado na pesquisa-Ação e na pesquisa Construtivista,



tendo sido criada uma metodologia Intervencionista de abordagem do problema que representa uma mescla dessas abordagens.

Sobre a pesquisa-ação, esta é um tipo de abordagem que busca unir a pesquisa à ação (à prática), e com isso produzir conhecimento (Engel, 2000; Roberts e Jönsson, 2010; Tripp, 2005), e é considerada a precursora da pesquisa intervencionista em ciências sociais. Com algumas variações na metodologia, a pesquisa-ação, em geral, segue um ciclo de melhoria e resolução de problemas (Tripp, 2005), com algumas etapas estabelecidas.

Já a pesquisa Construtivista, também relacionada a este trabalho, tem uma abordagem em que a resolução de problemas se dá por meio da construção de modelos, diagramas, planos etc., buscando vincular o problema e sua solução ao conhecimento teórico. A pesquisa Construtivista foi desenvolvida por pesquisadores finlandeses (Kasanen e Lukka, 1993), como uma opção para estudos em controladoria no campo da solução de problemas. A exemplo da pesquisa-ação, segue algumas etapas para a sua aplicação (Labro e Tuomela, 2003). Na abordagem desse tipo de pesquisa, o pesquisador trabalha em conjunto com os membros da organização anfitriã para desenvolver um construto, testar sua utilidade e fundamentar o processo com base na teoria (Roberts e Jönsson, 2010).

No que tange à pesquisa intervencionista, Suomala, Lyly-Yrjänäinen e Lukka (2014) a posicionam entre a pesquisa-ação e a pesquisa construtivista.

Assim, foi partindo desse entendimento sobre a pesquisa intervencionista, que o presente estudo propôs uma abordagem baseada em uma mescla desses tipos de pesquisa, estabelecendo uma sequência de etapas, que são descritas a seguir:

Etapa 1 - Diagnóstico: Nesta etapa identifica-se o problema prático, que deve ter uma relevância do ponto de vista de pesquisa. Além disso, esta etapa envolve uma chamada para a colaboração junto à organização objeto do estudo, assim como, um diagnóstico preliminar.

Etapa 2 - Pré-intervenção: Aqui já se deve obter junto à organização objeto do estudo, uma compreensão abrangente e geral do problema a ser tratado;

Etapa 3 - Intervenção:

Nesta etapa deve-se definir alguns aspectos chave:

3.1 As bases da intervenção

Que no presente caso baseou-se em um tripé, envolvendo a empresa, as pessoas e os processos;

3.2 Caracterização clara da Empresa objeto do estudo;

3.3 Definição da subsidiária ou filial da empresa escolhida para a intervenção;

3.4 Definição da área operacional da empresa, específica para a intervenção e dos respectivos processos em que ocorrerá a intervenção;

Etapa 4: Abordagem Técnica do Experimento de Campo: Esta etapa trata do experimento de campo propriamente dito, em que uma abordagem será adotada para levantamento e tratamento de dados, a partir de estratégias técnicas Delineamento de Experimentos apresentadas na seção 2.2.

Etapa 5: Avaliação de Resultados: Esta é a etapa final em que se avalia a integração das práticas de controladoria ao ambiente de operações e chão-de-fábrica e procura-se demonstrar a contribuição teórica do estudo. Técnicas estatísticas podem ser empregadas nesta fase (vide seção 4.2);



A Etapa 4 envolve aspectos técnicos, o que exige um detalhamento maior para que possa ser bem descrito aquilo que se pretendeu desenvolver. Por isso, a seção 2.2, a seguir, é dedicada a explorar certos detalhes técnicos da etapa 4.

2.2 Experimento de Campo: Base Técnica

Como a pesquisa intervencionista é uma modalidade de experimento de campo, espera-se que utilize métodos etnográficos e que se beneficie muito da observação do participante (Roberts, Westin e Dumay, 2010; Roberts e Jönsson, 2010). Portanto, os dados associados ao problema em estudo devem ser obtidos por meio de observação do participante, em todas as etapas do processo sob análise (Roberts, Westin e Dumay, 2010).

Uma forma para se implementar tais características no experimento de campo, é com o uso do Delineamento de Experimentos (DOE) ou Projeto de Experimentos. O DOE tem sido exaustivamente utilizado por organizações na procura da melhoria da qualidade de seus produtos por meio de estudos de campo (Laureani & Antony, 2019).

Johnson & Montgomery (2010) definem o DOE como uma técnica usada para planejar experimentos, sendo usada, portanto, para definir quais dados, em qual quantidade e sob quais condições devem ser coletados durante um experimento específico, buscando basicamente chegar a dois objetivos maiores: a acuracidade estatística nas respostas do experimento e o menor custo.

Os experimentos são testes planejados, nos quais se realizam mudanças nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de forma que se possa avaliar os efeitos de diferentes fatores nas respostas da variável em estudo, e assim identificar as causas das variações naquelas respostas. Desta forma é possível, por exemplo, tratar problemas de qualidade em produtos, processos e sistemas (Galdamez & Carpinetti, 2004).

A Figura 1 representa de forma esquemática o modelo no qual DOE é baseado.

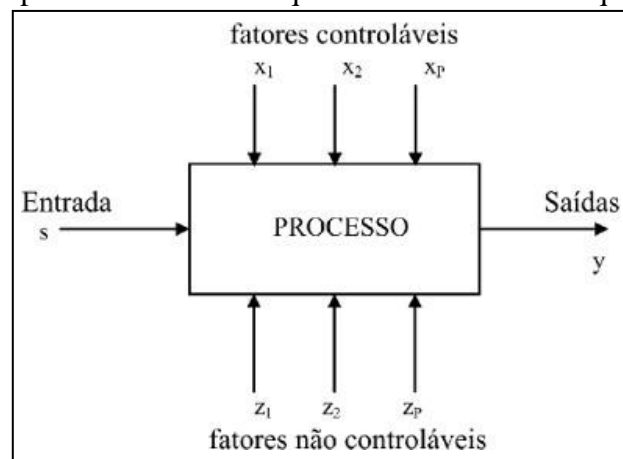


Figura 1: Modelo geral de um sistema ou processo

Fonte: (Johnson & Montgomery, 2010)

Existem diferentes tipos de projetos para experimentos de campo, como: Projetos Fatoriais Completos, abordagem de Plackett Burman e Projetos Fatoriais Fracionados.

No caso de um projeto fatorial completo, este permite analisar todas as combinações possíveis, bem como as principais interações e efeitos entre os fatores controláveis. Por outro lado, quando existe grande número de fatores, a quantidade de



combinações e interações aumenta significativamente. Uma opção para este caso é o uso de projetos fatoriais fracionados, que analisam apenas uma parte ou fração das combinações possíveis, avaliadas por projetos fatoriais completos, diminuindo consideravelmente a quantidade de recursos necessários para condução dos experimentos (Sanchez et al., 2006). Já os projetos do tipo Plackett Burman, são projetos fatoriais fracionados que apresentam uma metodologia de projetos experimentais muito econômica e que realiza análises estatísticas quando o número de combinações é múltiplo de 4. São projetos fatoriais de 2 níveis, resolução III, onde o número de variáveis (k) é igual ao número de experimentos (N) menos 1 (Sanchez et al., 2006).

Segundo (Johnson & Montgomery, 2010) muitos experimentos envolvem o estudo dos efeitos de dois ou mais fatores, e neste caso, projetos fatoriais são em geral, os mais eficientes, pois para cada repetição de um experimento todas as possíveis combinações dos níveis de todos os fatores são investigadas. Os autores declaram ainda, que um projeto fatorial é necessário quando interações entre os fatores podem estar presentes, evitando assim, eventuais conclusões errôneas que podem ocorrer, quando não se considera no experimento a existência de tais interações.

Um dos projetos fatoriais mais importante é aquele com k fatores, onde para cada fator considera-se apenas dois níveis. Assim, uma replicação completa deste projeto requer 2^k observações, o número de experimentações, portanto, é igual ao número de níveis elevado ao número de fatores. Daí, este tipo projeto ser chamado Projeto Fatorial 2^k . É uma estratégia que permite identificar interações entre fatores bem como os principais efeitos individuais de cada fator (Barra Montevechi et al., 2012).

No caso do presente estudo, o experimento de campo foi conduzido, utilizando-se o projeto fatorial completo.

3 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE INTEGRAÇÃO: CASO REAL

Esta seção e a próxima apresentam a aplicação no caso real das etapas descritas na seção 2.1.

3.1 ETAPA 1- Diagnóstico

Esta etapa trata da identificação de um problema prático importante para a organização e relevante para pesquisa. Esse processo de identificação do problema foi subdividido em fases, que são descritas nas próximas subseções.

3.1.1 Chamada para a colaboração

O pesquisador se envolveu com o projeto por meio do vínculo empregatício com a organização de acolhimento e do conhecimento mútuo de que um dos autores deste artigo estava desenvolvendo um projeto de tese de doutorado na área de finanças e controladoria. Por meio desse conhecimento, o pesquisador conversou com os seus dois principais executivos líderes diretos; diretor presidente da subsidiária objeto do estudo e vice-presidente de finanças da região das Américas da empresa anfitriã, sugerindo o desenvolvimento de um projeto conjunto, que pudesse ajudar a organização e colaborar com os objetivos acadêmicos do pesquisador. Assim, uma das principais dificuldades da pesquisa intervencionista foi superada, uma vez que o acesso a organizações que se dispõem a participar de estudos acadêmicos é uma condição limitante para o desenvolvimento da pesquisa intervencionista. (Roberts, Westin e Dumay, 2010; Lukka



e Vinnari, 2017; Suomala, Lyly-Yrjänäinen e Lukka, 2014; Suomala, Lyly-Yrjänäinen e Lukka, 2014).

3.1.2 Diagnóstico preliminar

Preliminarmente foi identificado que a empresa tinha uma questão relevante associada à geração de sucata (*scrap*), que em um primeiro momento avaliou-se como sendo excessiva, o que por consequência estava gerando perda de produtividade, com custos mais elevados do que o necessário e causando ainda, problemas ambientais.

Assim, avaliando-se preliminarmente o problema entendeu-se que havia ali uma oportunidade para ganhos de produtividade e que merecia uma possível intervenção nos processos.

3.2 ETAPA 2 - Pré-intervenção

Nesta etapa, o que se busca é obter junto à organização objeto do estudo, uma compreensão abrangente e geral do problema a ser tratado. E, nesse sentido, chegou-se a uma melhor especificação do problema da empresa, identificando-se que a questão se concentrava na quantidade de sucata gerada na produção contínua no processo na prensa de extrusão, e devia-se, portanto, desenvolver um estudo para identificar as causas da geração de sucata naquele processo. Assim, o que se buscava era identificar possíveis melhorias nesse processo, de forma a minimizar aquela geração de sucata e, posteriormente, garantir a qualidade e buscar sua sustentabilidade. Preliminarmente, já foram identificados alguns fatores, e posteriormente, na intervenção, alguns foram confirmados e outros descartados.

De forma mais específica, poderia ser estabelecido que se buscava respostas para as seguintes questões:

- a) Quais seriam as variáveis passíveis de observação/mensuração no processo da prensa de extrusão e também, eventualmente, mencionadas na literatura, que poderiam influenciar a geração de sucata naquele processo?
- b) Quais seriam as técnicas/modelos que poderiam ser utilizados em uma intervenção no processo da prensa de extrusão, e que permitissem confirmar em campo as variáveis significativas e controláveis que pudessem propiciar uma redução da sucata gerada?

3.3 ETAPA 3: Intervenção

Esta etapa tem algumas subdivisões, que são expostas na sequência.

3.3.1 Tripé da Intervenção

O que foi possível aprender nesse processo de intervenção é que a fundação de todo o problema deveria estar relacionada à **Empresa, Pessoas e Processos**. Sendo esse último desmembrado em duas grandes áreas: linha de produção objeto desta intervenção e seus próprios processos.

3.3.2 A Empresa

Sobre a empresa objeto desta intervenção, esta pode ser caracterizada como uma organização internacional que está presente em mais de 60 locais em todo o mundo. É fabricante de produtos premium em alumínio. conta com cerca de 7.500 colaboradores e tem receita anual de aproximadamente US\$ 2,8 bilhões.



3.3.3 Subsidiária escolhida para a Intervenção

Inicialmente, foi definido que a região escolhida para realizar a intervenção deveria se localizar nas Américas. Existem aproximadamente dez subsidiárias e plantas produtivas nas Américas, incluindo Brasil, Canadá e os Estados Unidos. Mais especificamente, foi selecionada a subsidiária localizada no Brasil, voltada ao segmento de latas de bebidas em aerossóis. Entretanto, no último trimestre de 2021, o pesquisador responsável direto por este trabalho, foi transferido para os Estados Unidos para assumir naquele país uma responsabilidade similar à que exercia no Brasil. Isto, entretanto, não impossibilitou a continuidade da intervenção. Ao contrário, o projeto que ia ser conduzido no Brasil, teve seu foco direcionado para uma das oito subsidiárias existentes nos Estados Unidos. A subsidiária escolhida, objeto desta intervenção, atua em quatro grandes negócios e a representatividade de sucata gerada mensalmente é demonstrada na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Negócios da Subsidiária Selecionada e % de *Scrap* do Processo Produtivo

Negócio	% de sucata gerada
<i>Aerosol</i>	10%
<i>Beverage</i>	16%
<i>Cheese</i>	7%
<i>Specialties</i>	15%

Fonte: Elaborado pelos autores

3.3.4 Definição da área operacional e seus Processos

Em termos de área operacional foi definida uma Linha de Produção e um de seus processos. Para isso, durante o chamado *Inquiry Process*, o *plant manager* da empresa apresentou de forma geral as linhas produtivas, bem como os negócios que são gerados na fábrica objeto desta intervenção. Atualmente, existem 16 linhas produtivas que atendem os seguintes negócios: *Aerosol*, *Beverage*, *Cheese* e *Specialties*.

A Linha 14 produz as latas para o segmento de *Beverage*, que atende basicamente dois principais clientes e segmentos (consumo de energéticos) e *Burgundy Wine* (vinho de Borgonha), conforme foto 1 abaixo:



Foto 1: Produtos objeto desta análise de intervenção
Fonte: Elaborado pelos autores

São basicamente quatro os processos responsáveis pela geração total de sucata, sendo eles:

- *Extrusion*
- *Liner*
- *Lithografy*
- *Necker*

O processo de impacto por extrusão representa acima de 90% de toda a sucata gerada no processo produtivo de latas de *Beverage*, o que reforça que o alumínio tem o maior valor agregado por ser uma *commodity* de natureza pura. Após o processo de extrusão, o valor agregado de *scrap* gerado é reduzido em mais de 50%. Isso se explica pela foto 2 abaixo, gerada durante o processo de abdução com o time da qualidade:

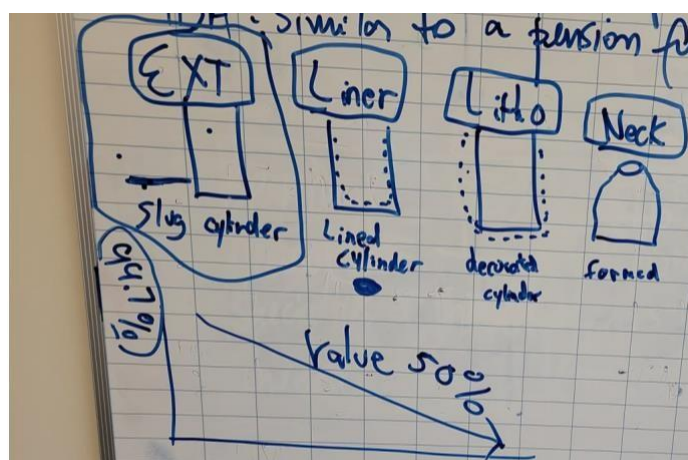


Foto 2: Processo de geração de scrap de alumínio
Fonte: Elaborado pelos autores



Desta forma, o foco da intervenção foi todo centralizado na linha 14, no processo da prensa por extrusão.

4 EXPERIMENTO DE CAMPO e AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Esta seção apresenta as etapas 4 e 5 do planejamento, correspondente ao desenvolvimento do experimento de campo e à avaliação dos resultados, que na verdade, acabou se constituindo em parte considerável da própria intervenção. Apresenta-se aqui desde a definição de datas para a execução dos experimentos, até a obtenção e avaliação dos resultados.

4.1 ETAPA 4: Experimento de Campo

4.1.1 Definição de Datas para o Experimento de Campo

Durante o primeiro trimestre de 2023, foram conduzidas diversas reuniões com o time multifuncional de operações da fábrica com o objetivo de se encontrar o melhor momento para realizar a intervenção. O objetivo era de trazer o mínimo (ou nenhum) impacto à rotina do time da produção. A terceira semana do mês de abril foi definido como o melhor momento para realizar o experimento de campo, e exatamente como definido com o time multifuncional de operações, na terceira semana de abril de 2023 foi realizado o experimento de campo na linha 14.

4.1.2 Identificação dos Fatores de Controle

Para esta etapa foi utilizado como base de análise o modelo desenvolvido por Montevechi et al. (2007), sendo os fatores de entrada: 1 máquina extrusora, 1 máquina de corte, 4 equipes de extrusão, 2 turnos diurnos e 2 turnos noturnos. Este modelo já foi validado, viabilizando a utilização para este trabalho. O modelo em uso avalia a geração de sucata, em número de latas na linha 14 de produção objeto deste trabalho.

4.1.3 Estrutura do Experimento de Campo

O experimento foi planejado de forma que a coleta dos dados se deu na produção contínua de latas, e foram realizadas por um período de 48 horas, 2 dias seguidos, 25/04 e 26/04/2023, separadas por um período de 1 hora, subdivididos em 4 diferentes turnos de produção: A1, A2, B1 e B2. Os dados foram coletados diretamente pelo pesquisador que acompanhou de perto a produção. Foram coletados aproximadamente 300.000 registros, correspondentes às produções de latas, com a correspondente geração de sucata nesse período.

Ao final de cada hora, o operador de produção ajustou a velocidade manualmente no painel eletrônico do Controlador Logico Programável (CLP) da máquina. Esse processo manual foi acompanhado pelo pesquisador de campo. Desta forma, foram ajustadas 4 diferentes velocidades no CLP da máquina durante o experimento: 125, 127, 129 e 131. Esse processo foi replicado por 2 vezes durante os turnos A e B. A Tabela 2 demonstra a estrutura do experimento de campo.



Tabela2: Estrutura do Experimento de Campo

Dia	Ação	Equipe	Turno	Ajuste de Velocidades no CLP da máquina
25/04	Experimento e Réplica	B1	Diurno	125, 127, 129, 131
25/04	Experimento e Réplica	B2	Noturno	125, 127, 129, 131
26/04	Experimento e Réplica	A1	Manhã	125, 127, 129, 131
26/04	Experimento e Réplica	A2	Noturno	125, 127, 129, 131

4.1.4 Execução do DOE

Seguindo a sequência proposta por Antony e Kumar (2011), foi aplicado o projeto de experimentos Fatorial Completo com replicações, usado para o estudo de detalhamento do comportamento da resposta com os 3 fatores identificados no processo de produção de latas (velocidade da linha, pessoas e turno de trabalho). Segundo Pyzdek e Keller (2011), a réplica é usada para investigar a interação de fatores. Para os projetos experimentais completos é possível avaliar todas as condições experimentais e a presença de interações entre os fatores.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para a respectiva matriz experimental, representando o percentual total de sucata (*scrap*) gerada no processo de produção.

Tabela3: Matriz Experimental e Percentual de Sucata (*scrap*) Gerada

Velocidade	Turno Matutino		Turno Noturno	
	Equipe A1	Equipe A2	Equipe B1	Equipe B2
125	2.23%	2.33%	2.23%	2.30%
127	2.21%	2.33%	2.41%	2.27%
129	2.33%	2.32%	2.23%	2.23%
131	2.24%	2.32%	2.22%	2.30%

4.2 ETAPA 5: Análise de Resultados do Experimento

Para analisar os resultados foi utilizada a conhecida técnica de Análise de Variância, cujos resultados são sempre apresentados na forma de uma tabela, que é chamada “ANOVA” (*Analysis of Variance*). Isto foi feito com o apoio do software RStudio.

Para isto, o primeiro passo foi carregar os dados observados no experimento de campo para o software. O segundo passo foi analisar a ANOVA obtida. A ANOVA apresenta os resultados de um teste de hipótese com a hipótese nula abaixo:

H_0 : Não há diferença entre as Médias dos Grupos analisados.

A ANOVA apresenta: $\Pr(>F)$, também conhecida como *p-value* e que representa a probabilidade de H_0 ser verdadeira, $P(H_0 = \text{Verdadeira})$. Caso H_0 seja verdadeira isso significa que o fator analisado não teve impacto significativo nas respostas da variável em estudo. Rejeita-se H_0 se $p\text{-value} < 0,005$. Isto porque, considera-se que o valor crítico



de $Pr(>F)$ é de 5%, ou seja, para qualquer valor abaixo de 0,005, entende-se que há um impacto significativo do tratamento analisado nos resultados da variável em estudo.

Inicialmente, foi feita uma análise de variância considerando-se apenas um fator, a chamada “one-way ANOVA”. Tendo-se assim, uma variável independente (ou um Tratamento) como relevante. Nesse caso, o fator considerado foi a velocidade da linha. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 4.

Tabela4: Tabela ANOVA a um Fator (one-way)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Veloc	1	9.60e-06	9.648e-06	2.208	0.139
Residuals	238	1.04e-03	4.370e-06		

Fonte: Elaborado pelos autores

A ANOVA analisa fundamentalmente se o Fator (ou Tratamento) “Velocidade” teve impacto estatisticamente significativo nos resultados do *Scrap*. Na ANOVA, quanto maior o *F-Value* ou menor o *p-value*, apresentado na tabela 4 como $Pr(>F)$, maior será a probabilidade da variação na resposta da variável em estudo (*% de scrap*) ter sido causada pelo Tratamento (velocidade

Analisando-se a Tabela 4, percebe-se que o *p-value* de 0.139 está acima de 0.05. Desta forma analisado separadamente, a velocidade, esta não apresenta significância estatística na geração de sucata, ao nível de significância de 5%.

Uma nova análise foi realizada, “two-way ANOVA”, desta vez considerando-se 2 fatores como variáveis independentes (velocidade e equipes). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela5: Tabela ANOVA a dois Fatores (two-way)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Veloc	1	0.0000096	9.648e-06	2.250	0.135
Equipe	3	0.0000322	1.073e-05	2.503	0.060
Residuals	235	0.0010079	4.289e-06		

 Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Fonte: Elaborado pelos autores

Note-se que agora, o *p-value* da Velocidade variou para 0.135, e o resultado do *p-value* do fator Equipe foi de 0.06, demonstrando que este fator já se aproxima do valor crítico de 0,05.

Uma nova análise foi desenvolvida a dois fatores, mas desta feita considerando-se a interação entre os fatores (tabela 6).

Tabela 6: Tabela ANOVA a dois Fatores com Interação entre Fatores

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Veloc	1	0.0000096	9.648e-06	2.299	0.1308
Equipe	3	0.0000322	1.073e-05	2.557	0.0559
Veloc:Equipe	3	0.0000341	1.137e-05	2.708	0.0460 *
Residuals	232	0.0009738	4.197e-06		

 Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Fonte: Elaborado pelos autores



Note-se que agora, a interação entre Velocidade e Equipe se mostrou estatisticamente significativa ao nível de 5%, e que o fator Equipe se aproximou da significância crítica de 5%

Mais uma análise foi realizada, “*three-way* ANOVA”, desta vez considerando-se 3 fatores como variáveis independentes (turno, velocidade e equipes). Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Tabela ANOVA a três Fatores (*three-way*)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Turno	1	0.0000229	2.294e-05	5.349	0.0216 *
Veloc	1	0.0000096	9.648e-06	2.250	0.1350
Equipe	2	0.0000093	4.630e-06	1.080	0.3414
Residuals	235	0.0010079	4.289e-06		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fonte: Elaborado pelos autores

Da mesma forma, analisando a Tabela 7, percebe-se uma melhora significativa no modelo, demonstrado pelo resultado do *p-value* do fator turno de 0.0216, mostrando que este é um fator significativo ao nível de 5%. O fator velocidade manteve-se no nível, um pouco acima de 10% de significância, e o fator equipe aparentemente foi substituído pelo turno de trabalho, onde equipes diferentes atuam.

Finalmente, a última análise desenvolvida considerou 3 fatores, mas desta feita considerando-se a interação entre os fatores (tabela 8).

Tabela 8: Tabela ANOVA a três Fatores com Interação entre Fatores

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Turno	1	0.0000229	2.294e-05	5.466	0.0202 *
Veloc	1	0.0000096	9.648e-06	2.299	0.1308
Equipe	2	0.0000093	4.630e-06	1.103	0.3335
Veloc:Equipe	3	0.0000341	1.137e-05	2.708	0.0460 *
Residuals	232	0.0009738	4.197e-06		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fonte: Elaborado pelos autores

Note-se que foi identificada pelo modelo apenas a interação entre Velocidade e Equipe, e que novamente se mostrou estatisticamente significativa ao nível de 5%, e o fator Turno também se mostrou estatisticamente significativa ao nível crítico de 5%

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme salientado na introdução deste artigo, anteriormente, através de técnicas de *Machine Learning* (ML), foi possível identificar as variáveis mais importantes na geração de sucata no processo de produção de latas de alumínio: velocidade da máquina, pessoas e seus respectivos turnos de trabalho. Pois, essas variáveis foram testadas e validadas na pesquisa intervencionista, aqui descrita, através de um experimento de campo em uma de suas linhas produtivas na empresa objeto deste artigo, o pesquisador acompanhou o processo produtivo das duas latas de 28mm e 38mm no chão de fábrica durante um período contínuo de 48 horas durante a terceira semana do mês de abril/23.

Durante a pesquisa intervencionista, com o experimento de campo baseado em DOE, e tendo sido utilizado um projeto fatorial completo na análise dos fatores, foram confirmados aqueles fatores que realmente influenciavam nas respostas. Evidenciando



que o estudo inicial por técnicas de ML foi capaz de identificar os fatores relevantes na geração de scrap.

Como continuidade deste trabalho, recomenda-se que com base no experimento realizado, o processo de produção de latas de bebidas com 28mm e 38mm na empresa, seja ajustado. E, no caso das variáveis associadas a pessoas (representadas pelas equipes e turnos), que a empresa possa continuar atuando na questão da rotatividade e retenção de seus colaboradores, conforme discutido anteriormente, no desenvolvimento deste artigo.

Ainda, por se mostraram promissores, os autores acreditam que o modelo e experimentos desenvolvidos poderiam ser expandidos para outras linhas de produção na própria empresa, bem como expandir sua aplicação em outras empresas que estejam passando por desafios similares de otimização de processos nas controladorias industriais.

REFERÊNCIAS

- Ahrens, T., & Chapman, C. S. (2007). Management accounting as practice. *Accounting, Organizations and Society*, 32(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.aos.2006.09.013>
- Antony, J. (1998). Some key things industrial engineers should know about experimental design. *Logistics Information Management*, 11(6). <https://doi.org/10.1108/09576059810242606>
- Argyris, C., & Kaplan, R. S. (1994). Implementing new knowledge: The case of activity-based costing. *Accounting Horizons*, 8(3).
- Baldvinsdottir, G., Mitchell, F., & Nørreklit, H. (2010). Issues in the relationship between theory and practice in management accounting. *Management Accounting Research*, 21(2). <https://doi.org/10.1016/j.mar.2010.02.006>
- Barra Montevechi, J. A., Carvalho Miranda, R. de, & Daniel, J. (2012). Sensitivity Analysis in Discrete Event Simulation Using Design of Experiments. In *Discrete Event Simulations - Development and Applications*. <https://doi.org/10.5772/50196>
- Becker, S., Messner, M., & Schäffer, U. (n.d.). *The Evolution of a Management Accounting Idea: The Case of Beyond Budgeting The Evolution of a Management Accounting Idea: The Case of Beyond Budgeting The Evolution of a Management Accounting Idea: The Case of Beyond Budgeting*.
- Bright, J., Davies, R. E., Downes, C. A., & Sweeting, R. C. (1992). The deployment of costing techniques and practices: a UK study. *Management Accounting Research*, 3(3). [https://doi.org/10.1016/S1044-5005\(92\)70011-0](https://doi.org/10.1016/S1044-5005(92)70011-0)
- Edwards, K. A., & Emmanuel, C. R. (1990). Diverging views on the boundaries of management accounting. *Management Accounting Research*, 1(1). [https://doi.org/10.1016/S1044-5005\(90\)70045-5](https://doi.org/10.1016/S1044-5005(90)70045-5)
- Engel, G. I. (2000). Pesquisa-ação. *Educar Em Revista*, 16. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.214>
- Galdamez, E. V. C., & Carpinetti, L. C. R. (2004). Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica. *Gestão & Produção*, 11(1). <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2004000100011>



- Granlund, M. (2001). Towards explaining stability in and around management accounting systems. *Management Accounting Research*, 12(2).
<https://doi.org/10.1006/mare.2000.0151>
- Hiramoto, T. (2019). Restoring the relevance of management accounting. In *Management Control Theory*.
- Johnson, R. T., & Montgomery, D. C. (2010). Designing experiments for nonlinear models - An introduction. *Quality and Reliability Engineering International*, 26(5).
<https://doi.org/10.1002/qre.1063>
- Kaplan, R. S. (1984). The evolution of management accounting. In *Readings in Accounting for Management Control*. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7138-8_27
- Kaplan, R. S. (2011). Accounting scholarship that advances professional knowledge and practice. In *Accounting Review* (Vol. 86, Issue 2).
<https://doi.org/10.2308/accr.00000031>
- Kasanen, E., & Lukka, K. (1993a). The constructive approach in management accounting research. *Journal of Management Accounting Research*, 5(5).
- Kasanen, E., & Lukka, K. (1993b). The constructive approach in management accounting research. *Journal of Management Accounting Research*, 5(5).
- Kleinert, T. R., Fedrigo, W., ten Caten, C. S., Núñez, W. P., & Ceratti, J. A. P. (2019). Aplicação da metodologia de projeto de experimentos na dosagem de misturas de reciclagem de pavimentos com adição de cimento. *TRANSPORTES*, 27(1).
<https://doi.org/10.14295/transportes.v27i1.1574>
- Labro, E., & Tuomela, T. S. (2003). On bringing more action into management accounting research: process considerations based on two constructive case studies. *European Accounting Review*, 12(3). <https://doi.org/10.1080/0963818032000083559>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1). <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Laureani, A., & Antony, J. (2019). Leadership and Lean Six Sigma: a systematic literature review. In *Total Quality Management and Business Excellence* (Vol. 30, Issues 1–2).
<https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1288565>
- Lukka, K., & Vinnari, E. (2017). Combining actor-network theory with interventionist research: present state and future potential. *Accounting, Auditing and Accountability Journal*, 30(3). <https://doi.org/10.1108/AAAJ-08-2015-2176>
- Malmi, T. (2010). Reflections on paradigms in action in accounting research. *Management Accounting Research*, 21(2). <https://doi.org/10.1016/j.mar.2010.02.003>
- Malmi, T., & Granlund, M. (2009). In search of management accounting theory. *European Accounting Review*, 18(3). <https://doi.org/10.1080/09638180902863779>
- Merchant, K. A. (2012). Making management accounting research more useful. *Pacific Accounting Review*, 24(3). <https://doi.org/10.1108/01140581211283904>
- Ms, P., Diego, C., Feg, P., & Sp, U. (2012). Método Taguchi aplicado na identificação dos fatores causadores da descarbonetação do arame de aço SAE 51B35, durante tratamento térmico de esferoidização. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 0(2).



- Roberts, H., & Baard, V. (2010). A critical review of interventionist research. In *Qualitative Research in Accounting & Management* (Vol. 7, Issue 1).
<https://doi.org/10.1108/11766091011034262>
- Roberts, H., & Jönsson, S. (2010). Interventionism – an approach for the future? *Qualitative Research in Accounting & Management*, 7(1).
<https://doi.org/10.1108/11766091011034307>
- Roberts, H., Westin, O., & Dumay, J. C. (2010). A critical reflective discourse of an interventionist research project. *Qualitative Research in Accounting & Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1108/11766091011034271>
- Sanchez, S. M., Moeeni, F., & Sanchez, P. J. (2006). So many factors, so little time...Simulation experiments in the frequency domain. *International Journal of Production Economics*, 103(1). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.06.007>
- Scapens, R. W., & Jazayeri, M. (2003). ERP systems and management accounting change: opportunities or impacts? A research note. *European Accounting Review*, 12(1).
<https://doi.org/10.1080/0963818031000087907>
- Suomala, P., & Lyly-Yrjänäinen, J. (2010). Interventionist management accounting research: lessons learned. *CIMA, Research Executive Summaries Series*, 6(1).
- Suomala, P., & Lyly-Yrjänäinen, J. (2012). Management Accounting Research in Practice. In *Management Accounting Research in Practice*.
<https://doi.org/10.4324/9780203141205>
- Suomala, P., Lyly-Yrjänäinen, J., & Lukka, K. (2014). Battlefield around interventions: A reflective analysis of conducting interventionist research in management accounting. *Management Accounting Research*, 25(4). <https://doi.org/10.1016/j.mar.2014.05.001>
- Tang, L. C., Goh, T. N., Yam, H. S., & Yoap, T. (2006). Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts. In *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts*. <https://doi.org/10.1002/0470062002>
- Tiomatsu Oyadomari, J. C., Lopes Cardoso, R., Ribeiro de Mendonça Neto, O., & Braga de Aguiar, A. (2013). Criação de conhecimento em práticas de controle gerencial: análise dos estudos internacionais. *Advances in Scientific and Applied Accounting*.
<https://doi.org/10.14392/asaa/2013060101>
- Tripp, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, 31(3).
<https://doi.org/10.1590/s1517-97022005000300009>