



# ANALYSIS OF THE PRODUCTION FLOW IN A METALLURGICAL COMPANY THROUGH A SIMULATION PROJECT

## ANÁLISE DO FLUXO DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA METALÚRGICA ATRAVÉS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

Harlenn S. Lopes<sup>1</sup>✉, Ermeson M. Sardinha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Pará, Abaetetuba, Pará/PA, Brasil*

✉ [harlenn@ufpa.br](mailto:harlenn@ufpa.br)

Received: 06 abril 2021/Accepted: 08 junho 2021 / Published: 28 junho 2021

### ABSTRACT.

Companies look for solutions to make decisions about their production systems, aiming to minimize problems related to production capacity, losses, waste, variations in demand, and production flow efficiency. In this way, discrete event simulation has become a useful and powerful tool for analyzing and solving problems of real complex systems. This paper aimed to propose improvements in the process flow of recovery and manufacturing of aluminum caps in a metallurgical company, reducing its waste and increasing efficiency from a discrete event simulation project. Thus, conceptual models were developed by collecting process data, computational models and scenarios were built using PROMODEL® software. The models were validated, adequately representing the processes studied. Eight scenarios were simulated for each process. At the end of the simulations, it was verified that scenario 6 was the most viable for the company, since it reduced waste related to movement and increased the productivity of the processes. This scenario had as its main characteristic the proposal of a new layout that facilitated the process flows.

**Keywords:** Discrete Event Simulation, Production Wastage, Aluminum Caps, Metallurgical.

### RESUMO.

As empresas procuram por soluções para as tomadas de decisões sobre seus sistemas de produção, visando a minimização de problemas relacionados a capacidade produtiva, perdas, desperdícios, variações na demanda e eficiência do fluxo de produção. Desta forma, a simulação a eventos discretos tem-se tornado uma ferramenta útil e poderosa para análise e resolução problemas de sistemas complexos reais. Este artigo teve como objetivo propor melhorias no fluxo dos processos de recuperação e fabricação de tampas de alumínio em uma empresa metalúrgica, reduzindo seus desperdícios e aumentando a eficiência a partir de um projeto de simulação a eventos discretos. Assim, foram desenvolvidos modelos conceituais através da coleta de dados dos processos, modelos computacionais e cenários foram construídos utilizando o software PROMODEL®. Os modelos foram validados, representando adequadamente os processos estudados. Foram simulados 8 cenários para cada processo. Ao final das simulações, verificou-se que o cenário 6 era o mais viável para empresa, uma vez que reduzia desperdícios relacionados a movimentação e aumentava a produtividade dos processos. Este cenário possuía como principal característica a proposta de um novo layout que facilitava os fluxos dos processos.

**Palavras-chave:** Simulação a Eventos Discretos, Desperdícios na produção, Tampas de alumínio, Metalúrgica.



## 1. INTRODUÇÃO

A simulação computacional vem sendo cada vez mais aceita em tarefas de análise e desenvolvimento de sistemas produtivos, sendo seus principais objetivos experimentar novos projetos ou novos procedimentos antes de implementá-los e, também, identificar as variáveis mais importantes de um sistema, como gargalos e pontos de atenção, visando soluções analíticas otimizadas (CARDOSO; JUNIOR, 2016).

Dada a complexidade das estruturas dos sistemas reais, as interações entre as subpartes que os compõem, sua aleatoriedade e dinamismo, a simulação tem adquirido cada vez mais espaço dentro das empresas na tentativa delas conhecerem melhor seus próprios processos, principalmente pela vantagem de obter respostas às questões “o que ocorre se...”, ou seja, de poder fazer inferências ao sistema e analisar os resultados sem a necessidade de parar o processo real (CHWIF; MEDINA, 2010).

Um ganho a ser destacado na simulação é a possibilidade de identificar e eliminar problemas e ineficiência de processos e/ou operações, uma vez que em análises de cenário a inviabilidade do projeto é evidente, antes mesmo de sua implantação. Assim, a economia está presente na eliminação de desvios nos projetos e diminuição nos fatores de risco quando há incerteza nas projeções (SIMÃO, 2020).

Nessa vertente, cresce o destaque à simulação a eventos discretos, de forma a se tornar possível a avaliação de impactos de mudanças de parâmetros no desempenho do processo (MELLO *et al.*, 2014). Essa simulação possui diversas aplicações possíveis em sistemas reais como em: hospitais (Ahalt *et al.*, 2018), ferrovias (Simão, 2020), empresa de alimentos (Ariza e Jimenez, 2020), estoque de diversos produtos (Jackson *et al.*, 2018) entre outros. A partir de estudos aplicados de simulação, verificou-se a possibilidade de aplicação da simulação a eventos discretos em uma situação real pouco usual, como a da organização objeto de estudo deste trabalho, cujo foco produtivo se refere à recuperação e fabricação de tampas de alumínio de 14 quilos, utilizadas em processos de redução industrial.

Foi verificado, a partir de ferramentas de análise, que a empresa objeto de estudo apresenta muitas perdas no processo de recuperação e fabricação das tampas de alumínio. Essas



perdas estão relacionadas a um fluxo confuso e mal estruturado dos processos. Segundo Salgado *et al.* (2009), as indústrias devem aplicar métodos que objetivem a diminuição dos custos e a criação de processos com mais eficiência e qualidade. Assim, faz-se necessário uma revisão no fluxo da linha de produção atual da empresa. Todavia, as decisões para solucionar esses problemas precisam ser cautelosas e eficazes para impactarem positivamente no processo de produção.

Essas decisões, frequentemente, necessitam de investimentos nos setores a serem modificados, ou seja, os gestores precisam conhecer os indicadores que demostrem confiabilidade e minimizem os riscos. A simulação pode auxiliar na tomada decisão para propor novos fluxos de produção, uma vez que fornece indicadores confiáveis muito próximos da realidade, fazendo com que os gestores possam tomar decisões mais assertivas possíveis.

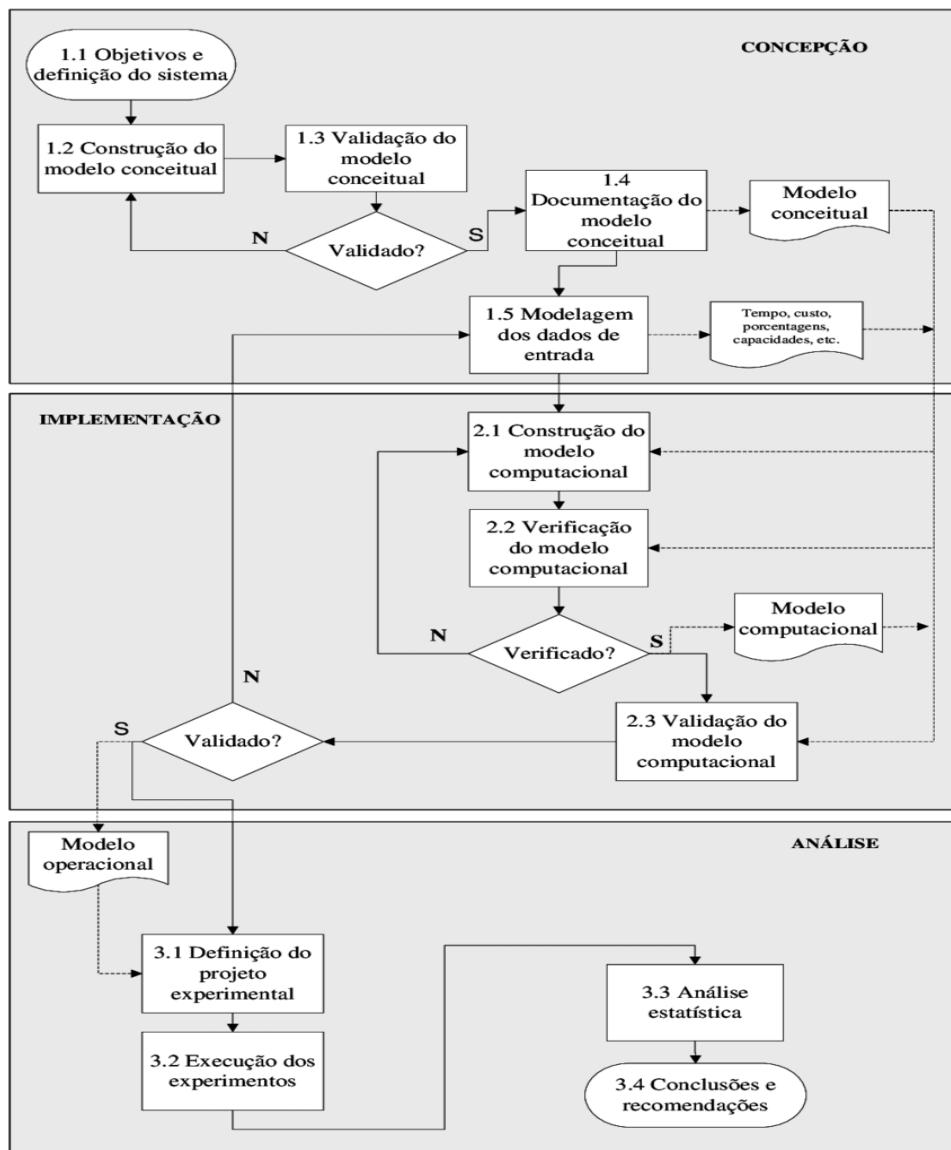
Neste contexto, o presente trabalho busca realizar um projeto de simulação para as linhas de recuperação e fabricação de tampas de alumínio em uma empresa metalúrgica, analisando seu fluxo produtivo e propondo melhorias, utilizando o *software* PROMODEL®, a fim de melhorar o fluxo produtivo e reduzir desperdícios, buscando mais eficiência e eficácia no processo produtivo.

## 2. MÉTODO - PROJETO DE SIMULAÇÃO

Este projeto de simulação segue o método de Montevechi *et al.* (2007), o qual oferece uma sequencia de passos bem definidos em três etapas fundamentais: concepção (modelo conceitual), implementação (modelo computacional) e análise (modelo operacional). A Figura 1 apresenta detalhadamente a metodologia e suas três etapas.



FIGURA 1 - SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA UM PROJETO DE SIMULAÇÃO



FONTE: Montevechi *et al.* (2007)

Na etapa de concepção, foi realizada a modelagem conceitual, com a aplicação da técnica IDEF-SIM (LEAL, ALMEIDA e MOTEVECHI, 2008). A implementação se deu pela construção do modelo no *software* Promodel® a partir do modelo conceitual construído. As análises se dão a partir da construção dos cenários e suas simulações.



Após a coleta de dados, foi realizada análise estatística utilizando o *software STAT::FIT®* para a obtenção das distribuições de probabilidade dos processos, que posteriormente serão utilizadas no modelo computacional. As Tabelas 1 e 2, apresentam, respectivamente, as distribuições fornecidas pelo *software* para as etapas do processo de recuperação e fabricação de tampas de alumínio. A unidade de tempo é o segundo.

TABELA 1: DADOS FORNECIDOS PELO STAT::FIT® PARA CADA ATIVIDADE DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Atividade	Distribuição (s)
Lavagem da tampa	Poisson (70.4)
Inspeção/retirada da chapa U	<i>Discret Uniform</i> (89,122)
Prensa Hidráulica	Binomial (313,0.401)
Mesa C	<i>Discret Uniform</i> (505,721)
Mesa D	Binomial (136, 0.583)
Prensa Manual	Binomial (64, 0.836)
Mesa A (Montagem)	<i>Discret Uniform</i> (81,133)

FONTE: Os autores (2021)

TABELA 2: DADOS FORNECIDOS PELO STAT::FIT® PARA CADA ATIVIDADE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Atividade	Distribuição (s)
Mesa de marcação	Binomial (271, 0.628)
Corte	<i>Discret Uniform</i> (244,311)
Prensa 3	<i>Discret Uniform</i> (199,312)
Prensa 1	Poisson (135)
Prensa 2	<i>Discret Uniform</i> (128,165)
Furadeira Radial	Binomial (142, 0.605)
Mesa de montagem	<i>Discret Uniform</i> (489,567)

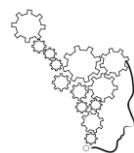
FONTE: Os autores (2021)

Assim, após os processos serem mapeados e suas taxas definidas foi possível iniciar a criação do modelo conceitual utilizando o método IDEF-SIM.

### 3. RESULTADOS

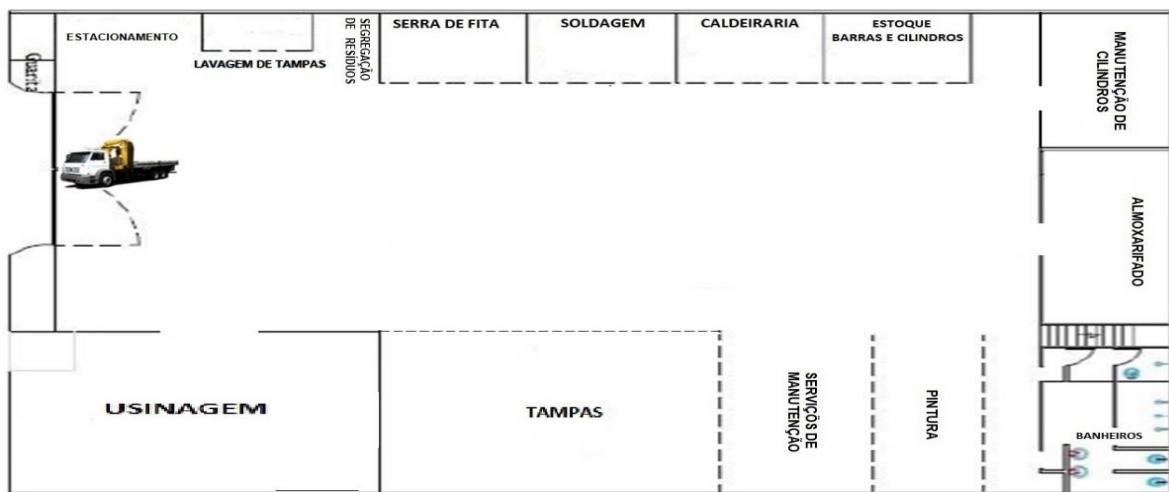
#### 3.1. CONCEPÇÃO

Chwif e Medina (2010) relatam a importância da concepção, pois um modelo conceitual abrangente certamente levará a um modelo computacional completo que, consequentemente,



levará a um modelo operacional válido. Para a diagramação do modelo conceitual em IDEF-SIM, é necessário apresentar as características operacionais da empresa estudada. O Layout da empresa encontra-se na Figura 2.

FIGURA 2: LAYOUT DA ÁREA FABRIL DA EMPRESA



FONTE: Os autores (2021)

Os processos que foram estudados neste presente trabalho envolvem a recuperação e fabricação do principal produto da empresa: as tampas de alumínio, que possuem, em média, 14 kg e pode ser dividido em 6 partes. A Tabela 3 detalha o produto e a Figura 3 mostra o produto inteiro.



TABELA 3 – DETALHAMENTO DO PRODUTO

Partes	Descrição
<b>Chapa principal</b>	É a chapa que forma o corpo do produto.
<b>Alças</b>	Suportes para segurar o produto.
<b>Parte superior (cabeça da tampa)</b>	É composta por duas chapas e servem de apoio para fixação do produto.
<b>Chapa L</b>	Chapa de composição da parte superior do produto.
<b>Chapa Z</b>	Chapa de composição da parte superior do produto.
<b>Parte inferior</b>	É composta por duas chapas e uma manta térmica e servem de apoio para fixação do produto.
<b>Chapa U</b>	Chapa de composição da parte inferior do produto.
<b>Chapa do pé</b>	Chapa de composição da parte inferior do produto.
<b>Manta térmica</b>	Manta de composição da parte inferior do produto.

FONTE: Os autores (2021)

Os processos estudados são os desenvolvidos na área de tampas, denominados recuperação e fabricação de tampas de alumínio. O processo de recuperação de tampas de alumínio é o principal processo desenvolvido diariamente na empresa, onde recupera-se entre 1000 a 1200 tampas durante um mês. Este processo conta com a participação de 10 colaboradores. Seu fluxograma encontra-se na Figura 3.

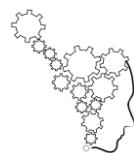
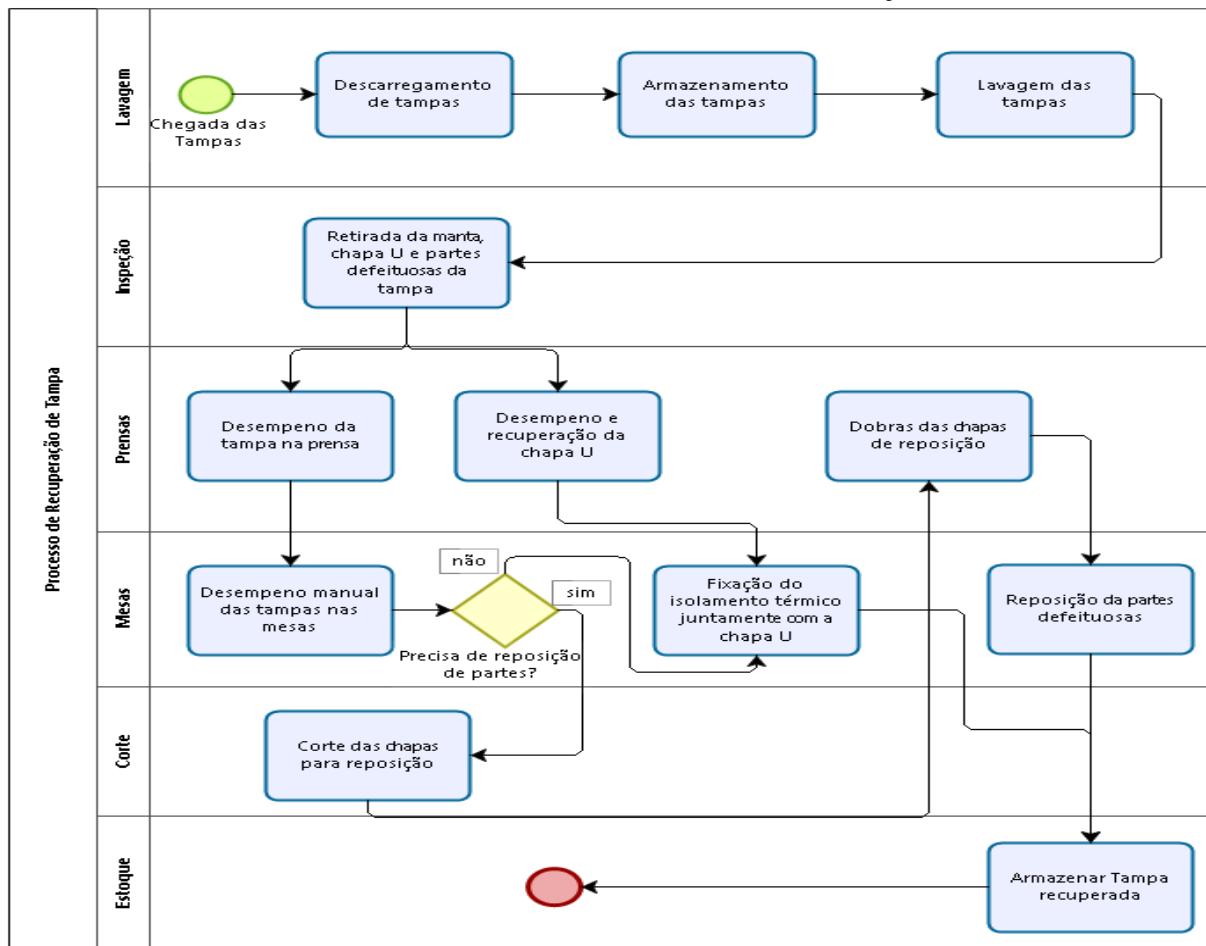


FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE TAMPAS



FONTE: Os autores (2021)

O processo de fabricação de tampas de alumínio é realizado na mesma área em que ocorre o processo de recuperação de tampas. Porém, ao contrário da recuperação, este processo ocorre apenas sob encomenda. A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de tampas.

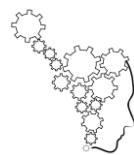
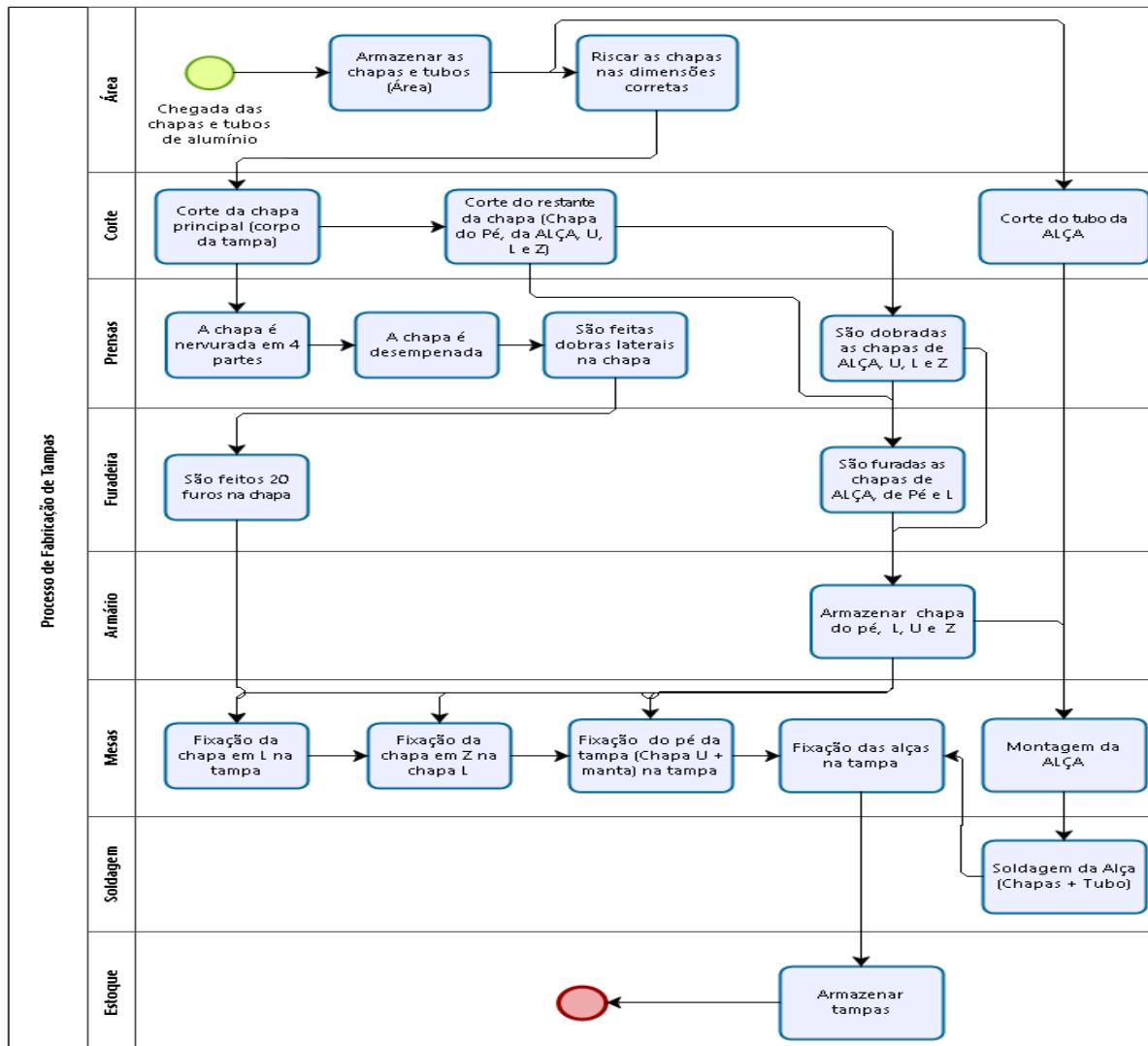


FIGURA 4: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TAMPAS



FONTE: Os autores (2021)

Os sistemas apresentados possuíam problemas de desperdícios. A empresa possuía conhecimento que, para redução das perdas, seus sistemas precisavam ser melhorados, principalmente no fluxo de seus processos.

### 3.2. O MODELO EM IDEF-SIM

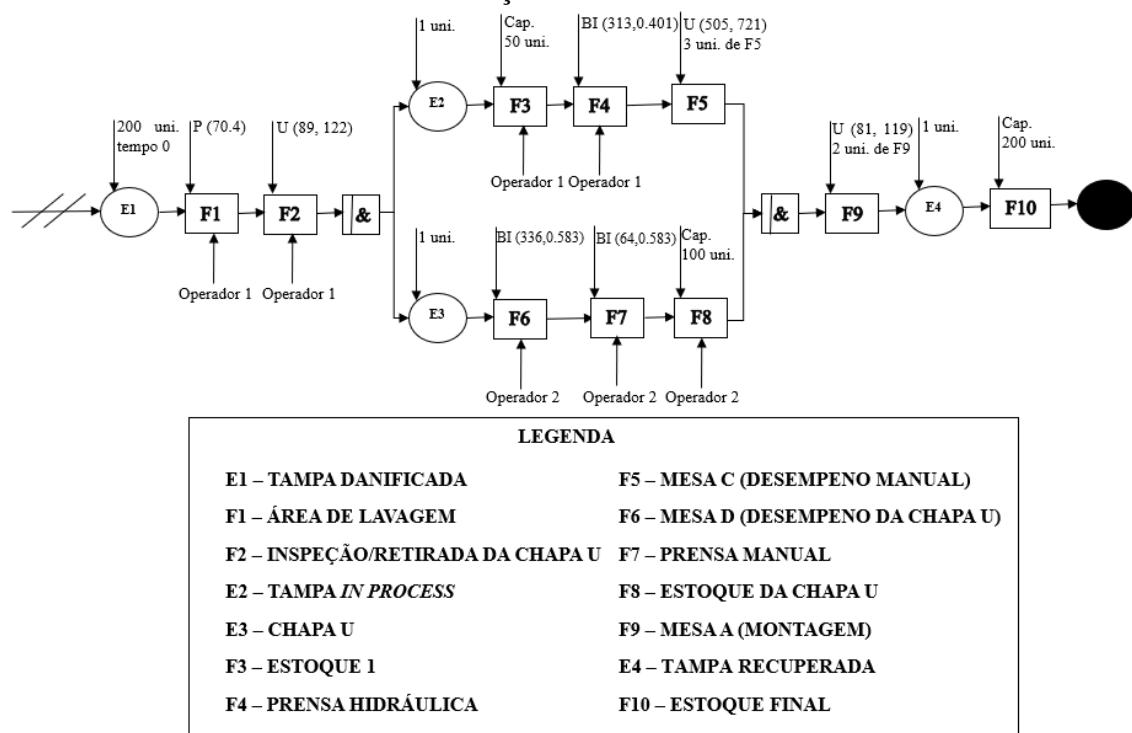
A principal característica do IDEF-SIM é a similaridade da sua lógica de aplicação com a lógica utilizada na implementação de modelos de simulação a eventos discretos. Esta



característica tem como objetivo a criação e diagramação de um modelo conceitual do processo a ser simulado que contenha elementos necessários na fase de modelagem computacional.

Os dois modelos conceituais propostos em IDEF-SIM, representado os processos de recuperação e fabricação de tampas de alumínio, são apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

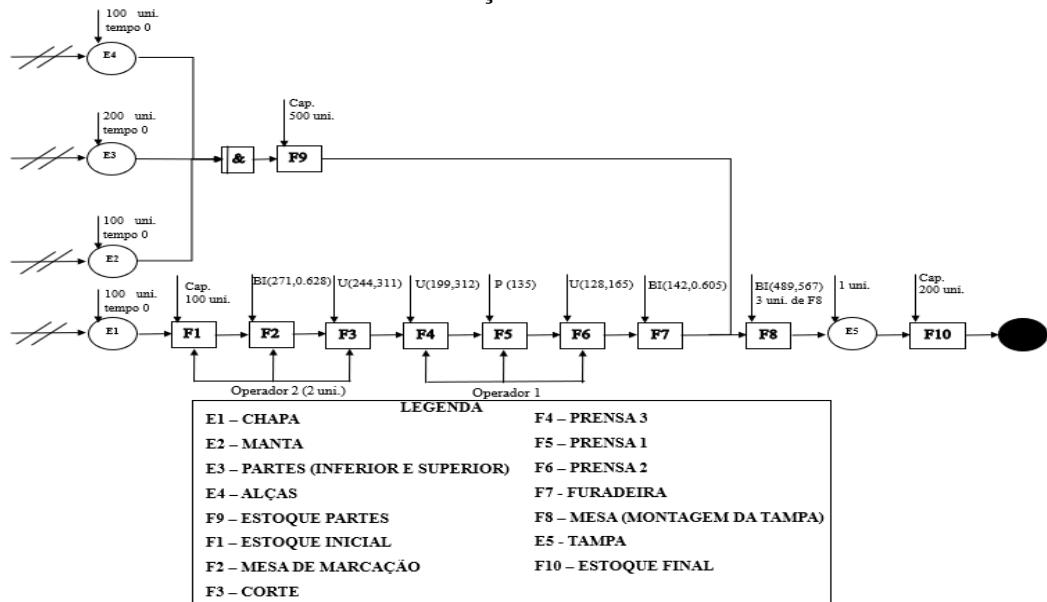
**FIGURA 4 – MODELO CONCEITUAL IDEF-SIM PARA O PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE TAMPAS**



FONTE: Os autores (2021)



FIGURA 5 – MODELO CONCEITUAL IDEF-SIM PARA O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TAMPAS



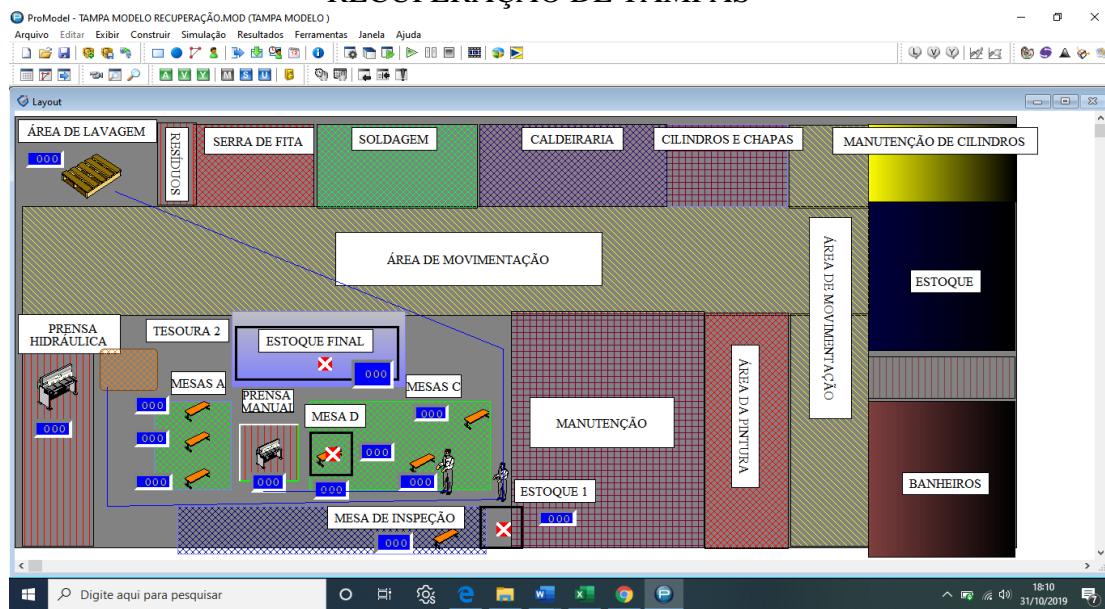
FONTE: Os autores (2021)

### 3.3. IMPLEMENTAÇÃO

Foram construídos dois modelos computacionais a partir dos modelos conceituais propostos. O *software* utilizado foi o PROMODEL®. As Figuras 6 e 7, demonstram os layouts construídos no sistema que representam os modelos computacionais.

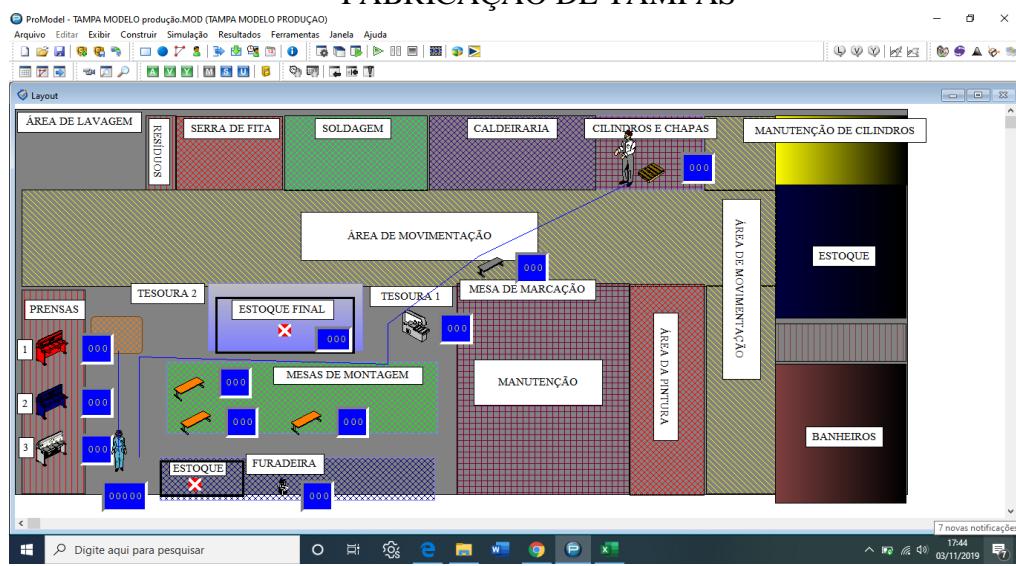


FIGURA 6 – LAYOUT GRÁFICO DO MODELO COMPUTACIONAL PARA RECUPERAÇÃO DE TAMPAS



FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 7 – LAYOUT GRÁFICO DO MODELO COMPUTACIONAL FABRICAÇÃO DE TAMPAS



FONTE: Os autores (2021)

Após implementação do modelo, foi realizada sua verificação e validação. A verificação, cujo intuito era saber se ele foi traduzido corretamente para o modelo computacional, se deu no



decorrer da construção do modelo computacional, no próprio *software* Promodel®, com auxílio da animação gráfica e de contadores responsáveis pela demonstração dos valores assumidos pelas variáveis. Os erros encontrados durante a verificação foram imediatamente corrigidos. A validação é definida por Correa *et al.* (2014) como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real no qual está simulando. Assim, foi realizada a validação estatística dos modelos implementados, comparando-se os resultados das simulações com os dados históricos da empresa. Para validação, foi realizado o teste T para ambos os processos, o qual verifica igualdade entre duas médias. As amostras reais e simuladas tiveram suas médias comparadas no teste, considerando-se duas hipóteses: H0 - não há diferença entre as médias; H1- há diferença entre as médias.

Os testes T foram realizados no *software* Minitab®. O resultado do valor-P do teste aplicado para o processo de recuperação de tampa foi 0,134, ou seja, superior ao nível de significância adotado de 0,05. Já o valor-P encontrado no teste aplicado para o processo de fabricação de tampas foi de 0,320, também superior ao nível de significância adotado. Portanto, aceita-se a hipótese H0 para os dois testes, ou seja, não diferença significativa entre as médias dos valores reais e simulados. Desta forma, os modelos de simulação dos processos de recuperação e simulação foram validados estatisticamente e seus resultados representam, dentro dos parâmetros considerados, o sistema real.

#### 4. DISCUSSÃO

A partir da construção de cenários, os resultados da simulação foram analisados para orientar a decisão e encontrar soluções para os sistemas. Os cenários tiveram 30 replicações de 8 horas, correspondentes à jornada diária da empresa. Foram criados 8 cenários para cada processo. As mudanças realizadas em cada cenário tiveram como objetivo melhorar o fluxo produtivo dos processos e diminuir seus desperdícios, buscando mais eficiência nas operações.

##### 4.1. CENÁRIOS CONSTRUÍDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A Tabela 4 apresenta a construção dos 8 cenários para cada processo, com suas características e finalidades.



**TABELA 4 – DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS CONSTRUÍDOS**

Cenários	Características	Processo de recuperação de tampas	Processo de fabricação de tampas	Finalidade
1	Sistema Real	Sistema real do processo	Sistema real do processo	Representação do Sistema real dos processos
2	Aumento do número de recursos	Cenário 1 + 1 un. do recurso "Operador 1".	Cenário 1 + duas un. do recurso "operador 2".	Avaliar se a inserção de mais operadores é eficaz nos sistemas.
3	Introdução de uma máquina e aumento de recursos	Cenário 2 + uma nova unidade da prensa hidráulica.	Cenário 2 + uma nova unidade de tesoura de corte.	Avaliar se a introdução de novas máquinas e aumento de efetivo, os sistemas conseguem reduzir suas perdas.
4	Realocação de locais	A mesa de inspeção e estoque 1 foram realocados para mais próximo do processo inicial de lavagem.	O estoque inicial e a mesa de marcação de chapas foram realocados, ficando mais próximos dos demais processos do sistema.	Analizar o comportamento dos sistemas, devido a mudança no posicionamento de locais e verificar os resultados para a diminuição dos desperdícios.
5	Realocação de locais e aumento de recursos	Cenário 4 + uma un. do recurso "Operador 2".	Inserção conjunta dos cenários 2 e 4.	Avaliar se a integração de dois cenários anteriores representa melhorias para os sistemas.
6	Reestruturação do layout dos processos	Inserção de um novo layout para o processo.	Inserção de um novo layout para o processo.	Analizar se haverá diminuição de desperdícios observados nos modelos reais, através dos ajustes no layout para que os processos pudessem seguir fluxo contínuo.
7	Reestruturação do layout dos processos e aumento de recursos	Cenário 6 + uma unidade do recurso "Operador 2".	Inserção conjunta dos cenários 6 e 2.	Avaliar redução de desperdícios e se haverá ganho na produtividade dos sistemas.
8	Reestruturação do layout dos processos e aumento dos dois recursos	Cenário 6 + uma unidade dos recursos Operador 1" e "Operador 2".	Cenário 6 + uma unidade do recurso "Operador 1" e duas unidades do "Operador 2".	Avaliar se a introdução de mais colaboradores em um layout reestruturado colabora para melhorar a produtividade da empresa e diminuição dos desperdícios.

FONTE: Os autores (2021)

A partir dos dados obtidos com os resultados da simulação dos cenários, foram desenvolvidas as Tabelas 5 a 8, com os resultados para os processos de recuperação e fabricação. As Tabelas 5 e 7 mostram a porcentagem média de movimentação dos recursos em cada cenário de ambos os processos, que foram importantes para verificar quais cenários apresentaram melhores resultados para os processos. A média de tampas recuperadas ou fabricadas de cada



cenário também estão presentes nas Tabelas 5 e 7, esses dados são importantes para quantificar o aumento ou decréscimo de produtividade de cada cenário proposto. As Tabelas 6 e 8 apresentam a porcentagem média total de movimentação dos recursos em cada cenário e a redução dessa movimentação nos cenários construídos, sempre tendo como parâmetro a simulação real dos processos.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos 8 cenários criados e simulados para o processo de recuperação de tampas, o cenário real da empresa apresentou uma porcentagem de movimentação de seus recursos muito alta, principalmente do recurso denominado “Operador 1”, devido ao fluxo mal estruturado do sistema os colaboradores percorrem longas distâncias para realização de suas tarefas. Desta maneira, a produtividade do processo é atingida por conta dos desperdícios de transporte e movimentação existentes no sistema. Os cenários 6, 7 e 8, comparativamente ao cenário 1, foram os que apresentaram maior aumento na produtividade do sistema, isso deve-se ao fato da introdução de um novo layout no processo que melhorou o fluxo de movimentação e diminuiu os desperdícios.



TABELA 5 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS DE RECUPERAÇÃO DE TAMPAS

Cenários	Características	Operadores	% de movimentação	Aumento de produção (%)	Tampas recuperadas (Média)
1	Sistema Real	Operador 1	37,52%	18,06%	60,03
		Operador 2	6,75%		
2	Aumento do número do recurso "Operador 1"	Operador 1.1	30,01%	18,06%	70,87
		Operador 1.2	23,25%		
		Operador 2	9,64%		
3	Introdução de uma máquina (Prensa) e aumento do recurso "Operador 1"	Operador 1.1	24,60%	28,82%	77,33
		Operador 1.2	24,51%		
		Operador 2	8,57%		
4	Realocação de locais	Operador 1	10,67%	37,76%	82,70
		Operador 2	30,74%		
5	Realocação de locais e aumento do recurso "Operador 2"	Operador 1.1	12,39%	62,14%	97,33
		Operador 2.1	8,26%		
		Operador 2.2	28,24%		
6	Reestruturação do layout	Operador 1	18,20%	108,51%	125,17
		Operador 2	16,86%		
7	Restruturação do layout e aumento do recurso "Operador 2"	Operador 1	19,67%	114,56%	128,80
		Operador 2.1	7,70%		
		Operador 2.2	10,92%		
8	Reestruturação do layout e aumento dos recursos "Operador 1" e "Operador 2"	Operador 1.1	6,94%	118,01%	130,87
		Operador 1.2	6,95%		
		Operador 2.1	8,10%		
		Operador 2.2	11,14%		

FONTE: Os autores (2021)

Na Tabela 6, é verificado que os cenários 2, 3 e 5 não tiveram redução nos índices de movimentação no sistema. Entretanto, conforme dados da Tabela 5, estes cenários apresentaram aumento no número de tampas recuperadas. Os cenários 2 e 3, embora apresentem ganho na produtividade, utilizam o layout atual da empresa e com a introdução de mais recursos acabam aumentado seus índices de movimentação dentro do sistema, por conta dos problemas encontrados no processo atual.

Os cenários 2, 3 e 4 apresentaram aumento de movimentação, comparados ao cenário real. O cenário 4, comparado ao cenário real, apresentou uma redução de 6,45% na movimentação de seus recursos e um aumento de produtividade de 37,76%, lembrando que esse cenário contou apenas com a realocação de dois locais no processo. Mas os cenários que apresentaram maiores reduções de movimentação, conforme os dados apresentados na Tabela 6,



foram os cenários 7, 8, e 9. Estes cenários tiveram como diferencial um layout melhor estruturado, reduzindo os desperdícios de movimentação presentes no processo atual da empresa, logo foram os cenários que apresentaram os melhores resultados.

TABELA 6 – MOVIMENTAÇÃO NOS CENÁRIOS DE RECUPERAÇÃO DE TAMPAS

Cenários	Movimentação dos recursos (%)	total	Redução de movimentação (%)
1	44,27%		
2	62,90%	0,00%	
3	57,68%	0,00%	
4	41,41%	6,46%	
5	48,89%	0,00%	
6	35,06%	20,80%	
7	38,29%	13,51%	
8	33,13%	25,16%	

FONTE: Os autores (2021)

Na Tabela 7, serão apresentados os dados que representam os resultados dos 8 cenários criados e simulados para o processo de produção de tampas. O cenário 1 mostrou o modelo real da empresa verificou-se uma porcentagem de movimentação de seus recursos denominado de “operador 2” muito alta, devido ao fluxo mal estruturado do sistema os colaboradores percorrem longas distâncias para realização de suas tarefas iniciais no processo. Assim, a produtividade do processo era afetada por conta dos desperdícios de transporte e movimentação existentes no sistema. Os cenários 3, 7 e 8, comparativamente ao cenário 1, foram os que apresentaram maiores índices de ganho na produtividade. No entanto, os cenários 2, 4, 5 e 6 também mostraram uma elevação no número de tampas produzidas, comparados ao cenário real, deixando evidente que a produtividade aumentou em todos os cenários construídos.



TABELA 7 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS DE FABRICAÇÃO DE TAMPAS

Cenários	Características	Operadores	% de movimentação	Aumento de produção (%)	Tampas fabricadas (Média)
1 Sistema Real		Operador 1	1,51%		
		Operador 2.1	21,90%		33,43
		Operador 2.2	18,75%		
2 Aumento do número do recurso "Operador 2"		Operador 1	6,66%		
		Operador 2.1	13,50%		
		Operador 2.2	12,60%	25,85%	42,07
		Operador 2.3	6,92%		
		Operador 2.4	9,72%		
3 Introdução de uma máquina (Tesoura de corte) e aumento do número do recurso "Operador 2"		Operador 1	7,21%		
		Operador 2.1	12,93%		
		Operador 2.2	12,21%	31,02%	43,80
		Operador 2.3	8,05%		
		Operador 2.4	8,06%		
4 Realocação de locais		Operador 1	1,88%		
		Operador 2.1	15,51%	4,40%	34,90
		Operador 2.2	12,27%		
5 Realocação de locais e aumento do número do recurso "Operador 2"		Operador 1	8,35%		
		Operador 2.1	9,97%		
		Operador 2.2	8,39%	28,93%	43,10
		Operador 2.3	4,29%		
		Operador 2.4	2,38%		
6 Reestruturação do layout		Operador 1	6,30%		
		Operador 2.1	8,55%	24,23%	41,53
		Operador 2.2	6,56%		
7 Reestruturação do layout e aumento do número do recurso "Operador 2"		Operador 1	10,07%		
		Operador 2.1	4,16%		
		Operador 2.2	3,99%	30,93%	43,77
		Operador 2.3	1,35%		
		Operador 2.4	1,07%		
8 Reestruturação do layout e aumento dos recursos "Operador 1" e "Operador 2"		Operador 1.1	5,00%		
		Operador 1.2	4,60%		
		Operador 2.1	6,48%		
		Operador 2.2	5,12%	84,83%	61,70
		Operador 2.3	3,07%		
		Operador 2.4	4,04%		

FONTE: Autores (2021)

A partir dos dados apresentados na Tabela 7, observou-se que os cenários que mais tiveram redução de movimentação foram aqueles que utilizaram o novo layout proposto para o processo, os cenários 6, 7 e 8. Os cenários 4 e 5, que utilizaram a realocação de alguns locais, também apresentaram reduções de movimentação em comparação ao cenário real. Apenas os



cenários 2 e 3, que utilizavam o mesmo arranjo do sistema atual, não tiveram reduções e ainda aumentaram os índices de movimentação no processo.

**TABELA 8 – MOVIMENTAÇÃO NOS CENÁRIOS DE FABRICAÇÃO DE TAMPAS**

Cenário	Movimentação total dos recursos (%)	Redução de movimentação (%)
1	42,16%	
2	49,40%	0,00%
3	48,46%	0,00%
4	29,66%	29,66%
5	33,38%	20,83%
6	21,41%	49,22%
7	20,64%	51,04%
8	28,31%	32,85%

FONTE: Os autores (2021)

Em termos de aumento da produtividade, os cenários 6, 7 e 8 apresentaram resultados excelentes, no processo de recuperação e no processo de fabricação de tampas. Estes cenários possuem uma característica em comum, eles têm como base um novo layout que melhorou o fluxo de movimentação e diminuiu desperdícios de transporte e movimentação durante os processos. No entanto, devido ao processo de recuperação de tampas ser desempenhado durante o ano inteiro na empresa, ele terá um peso extra na definição do melhor cenário para empresa. Lembrando que os dois processos são desenvolvidos na mesma área da empresa, então precisavam seguir características parecidas.

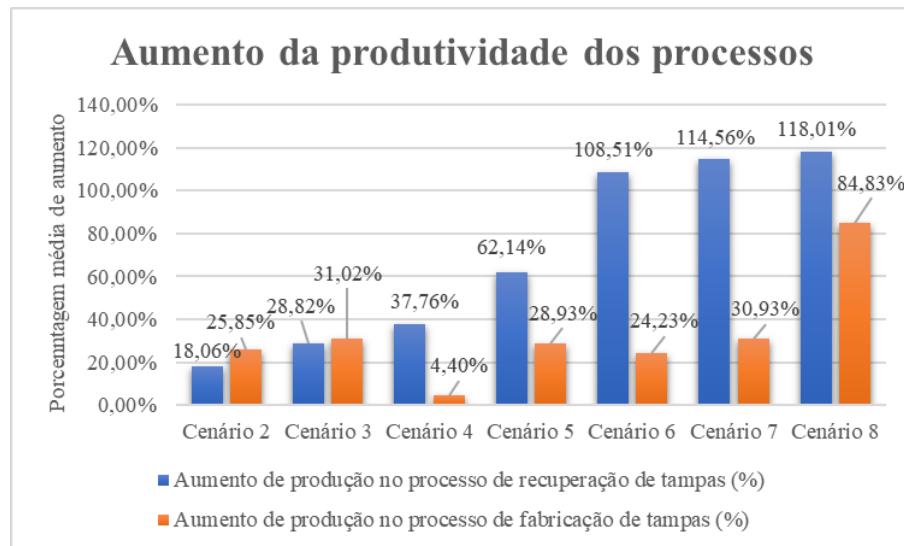
Em relação a redução de movimentação nos processos, os cenários 6, 7 e 8 também apresentaram bons resultados, tanto no processo de recuperação quanto no de fabricação de tampas. Deixando evidente que o fluxo de movimentação precisa ser melhorado para reduzir os desperdícios presentes nos processos.

#### 4.2. ANÁLISE DOS CENÁRIOS

A Figura 8 apresenta um gráfico com os resultados percentual médio dos ganhos em produtividade que cada cenário promoveu nos processos, quando comparados com os cenários reais. A Figura 9 mostra um gráfico de porcentagem média de redução de movimentação nos processos após a simulação dos cenários, esses são valores de redução encontrados quando comparados com os dados da simulação real dos processos.

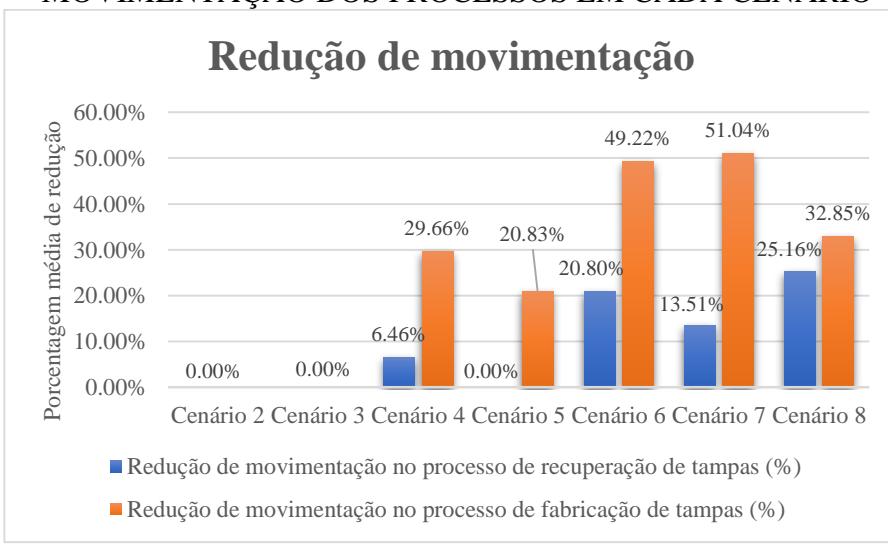


FIGURA 8 – GRÁFICO DE AUMENTO PERCENTUAL MÉDIO DE PRODUTIVIDADE DOS PROCESSOS EM CADA CENÁRIO



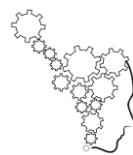
FONTE: Os autores (2021)

FIGURA 9 – GRÁFICO DE REDUÇÃO PERCENTUAL MÉDIO DE MOVIMENTAÇÃO DOS PROCESSOS EM CADA CENÁRIO



FONTE: Os autores (2021)

Após uma análise conjunta desses cenários, verificou-se que os cenários 6, 7 e 8 eram as alternativas mais efetivas para redução de movimentação e aumento na eficiência dos processos, como mostra os gráficos das Figuras 8 e 9. Porém, os cenários 7 e 8, que possuem melhores



percentuais de produtividade e redução de movimentação em ambos os processos, foram criados a partir do aumento no número de recursos utilizados nos processos. Assim, estes cenários necessitam de investimentos adicionais para introdução de novos colaboradores nos processos, algo que empresa não pretendia realizar no momento.

O cenário 6 apresentou resultado mais efetivo em viabilidade para ambos os processos, conforme verifica-se nos gráficos das Figuras 8 e 9, pois apresentou resultados satisfatórios com a utilização do mesmo quadro de colaboradores da empresa. No entanto o cenário 6 utilizou um novo layout para área de tampas, essas mudanças no arranjo do setor de tampas e em outros setores da empresa não necessitaram de grandes investimentos, pois os locais e máquinas presentes na área possuem facilidade para serem deslocadas pelo arranjo físico da empresa.

O cenário 6, no processo de recuperação de tampas, apresentou um aumento de 108,51% no número de tampas recuperadas e uma redução total de movimentação dos recursos de cerca de 20,80%, comparados aos resultados dos cenários reais, como mostra os gráficos das figuras 8 e 9. No processo de fabricação de tampas, o cenário 6 também promoveu um aumento de 24,23% na produtividade do processo e uma redução total de movimentação de cerca de 49,22%, em relação ao modelo atual da empresa, como foi apresentado nos gráficos das Figuras 8 e 9, deixando evidentes os resultados eficazes nos processos, promovidos pela reestruturação do layout da área de tampas.

## **5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

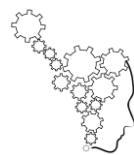
Este trabalho buscou propor melhorias no fluxo dos processos de recuperação e fabricação de tampas de alumínio em uma empresa metalúrgica, reduzindo os desperdícios dos processos e aumentando a eficiência a partir de um projeto de simulação a eventos discretos. Desta maneira, a simulação a eventos discretos foi uma ferramenta adequada, uma vez que não interfere no sistema real para encontrar soluções viáveis para os problemas encontrados nos processos de recuperação e fabricação de tampas da empresa.



A partir da busca de aplicações em simulação em diversos sistemas produtivos, verificou-se a possibilidade de implantação também na fabricação de tampas de alumínio de 14kg e suas particularidades produtivas. Assim, o projeto de simulação adotado teve três etapas: concepção, implementação e análise.

Na concepção, ocorreu a coleta de dados e o desenvolvimento do modelo conceitual em IDEF-SIM. O desenvolvimento do modelo computacional, ocorreu na etapa de implementação, onde com a utilização do *software* PROMODEL® foi possível definir os modelos e posterior analisar estatisticamente os dados referentes aos processos estudados. Na última etapa, ocorreu a construção e análise dos cenários elaborados para os processos, foram construídos 8 cenários para cada processo, que permitiram um direcionamento das tomadas de decisões, de forma que foi possível se mensurar os ganhos obtidos com a redução dos desperdícios relacionados a movimentação e transporte no sistema.

Foram construídos 8 cenários, tanto para o processo de recuperação quanto para o de fabricação de tampas de alumínio, o cenário 1 demonstrou os modelos atuais da empresa, os demais cenários propostos buscaram alternativas para solucionar os problemas encontrados nos cenários reais. Com a análise dos resultados obtidos, através da variação dos cenários, verificou-se que a reestruturação do layout da área de tampas é de fundamental importância para redução da movimentação e aumento de produtividade nos processos. O cenário 6, foi a alternativa mais efetiva para a redução dos desperdícios de movimentação, melhorando assim o fluxo dos processos e consequentemente elevando a produtividade da empresa. Os resultados do cenário 6, comparativamente aos resultados do cenário 1 de ambos os processos, mostraram uma redução de 20,80% e 49,22% na movimentação de recursos, respectivamente, nos processos de recuperação e fabricação de tampas. Com diminuição da movimentação nos processos, a produtividade alcançou altos índices de percentuais, sobretudo no processo de recuperação de tampas que obteve uma evolução de 108,51% comparada ao modelo real da empresa. O processo de fabricação de tampas no cenário 6, comparado ao cenário 1, também conseguiu um aumento percentual de produtividade de 24,23%.



Assim, é possível afirmar que a empresa possuía um grande potencial para garantir a melhoria da produtividade e diminuição de desperdícios em seus processos, adotando medidas simples para melhorar o fluxo dos processos como a reorganização do layout da área de tampas. Verificou-se, então, o grande impacto que um fluxo mal estruturado impõe no índice de produtividade da empresa.

Considerando o novo layout proposto, foi possível apresentar aos gestores os possíveis ganhos de produtividade, através da reorganização física da área de tampas da empresa. Deixando evidente que a simulação a eventos discretos é uma grande ferramenta para análise e apoio às decisões gerenciais, pois permite evidenciar problemas que estavam camuflados nos processos, como os desperdícios de movimentação e transporte, e analisar cenários que busquem minimizar esses desperdícios.

Conclui-se, portanto, que um projeto de simulação a eventos discretos proporciona inúmeras alternativas para execução de experimentos dentro de um processo, representando cenários reais e idealizando modificações pretendidas nestes cenários. Além disso, todos os experimentos e análises são realizadas sem a necessidade de rompimento ou paralização dos processos estudados e possibilitam tomadas de decisões mais assertivas e coerentes a respeito das modificações nos sistemas. Vale ressaltar que o estudo foi realizado para buscar resolver problemas relacionados ao fluxo dos processos, sem levar em consideração qualquer estudo de custos dentro da empresa.

Como trabalhos futuros recomenda-se que sejam realizadas outras análises através do projeto de simulação proposto, como avaliações associadas a qualidade dos produtos, custos de produção e viabilidade de introdução de novas tecnologias nos processos. Além disso, buscar outros *softwares* de simulação ou uma versão superior do PROMODEL® que possa detalhar mais os processos estudados.



## REFERÊNCIAS

AHALT, V.; ARGON, N. T. ZIYA, S.; STRICKLER, J.; MEHROTRA, A. **Comparison of emergency department crowding scores: a discrete-event simulation approach.** Health Care Manag Sci (2018) 21:144–155. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10729-016-9385-z>

ARAGÃO, A. P. **Modelagem e simulação computacional de processos produtivos: o caso da cerâmica vermelha de campos dos Goytacazes, RJ.** Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Mestrado em engenharia de produção - Campos dos Goytacazes – RJ. Março – 2011. Disponível em: [https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/13/2013/04/DISSERTACAO\\_FINAL1.pdf](https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/13/2013/04/DISSERTACAO_FINAL1.pdf)

ARIZA, L. V. P.; JIMENEZ, H. A. F. **Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos.** Ingeniare. Rev. chil. ing., Arica , v. 28, n. 2, p. 277-292, jun. 2020. Disponible em [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052020000200277&lang=pt](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000200277&lang=pt)

CARDOSO, E. Z. C.; JUNIOR C. F. J. **Simulação Computacional: análise comparativa dos softwares Arena® e Promodel®.** Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v.7, n.1, Abril, 2016. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/378/251>

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações.** 4. ed., Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.

CORRÊA, J. E.; MELLO, C. H. P.; PEREIRA, T. F. **Uso de simulação de eventos discretos para avaliação de uma linha de montagem de uma empresa do ramo automotivo e os impactos do fator humano.** E-locução. Revista científica da FAEX. Ed. 06. Ano 3. 2014. Pg. 37-57. Disponível em: <http://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucao/article/view/51/34>

JACKSON, I.; TOLUJEVS, J.; TOBIAS, R. **The combination of discrete-event simulation and genetic algorithm for solving the stochastic multi-product inventory optimization problem.** Transport and Telecommunication, 2018, volume 19, no. 3, 233–243. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326146869\\_The\\_Combination\\_of\\_Discrete-Event\\_Simulation\\_and\\_Genetic\\_Algorithm\\_for\\_Solving\\_the\\_Stochastic\\_Multi-Product\\_Inventory\\_Optimization\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/326146869_The_Combination_of_Discrete-Event_Simulation_and_Genetic_Algorithm_for_Solving_the_Stochastic_Multi-Product_Inventory_Optimization_Problem)

LEAL, F., ALMEIDA, D. A. DE E MONTEVECHI, J. A. B. **Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF.** In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa-PB: Anais XL. 2008. Disponível em: <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2008/pdf/arq0292.pdf>

MELLO, M. S.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C. **Análise do impacto das paradas de máquina em uma empresa farmacêutica por meio da simulação.** In: Iberoamerican Journal of



www.relainep.ufpr.br

*REVISTA LATINO-AMERICANA DE INOVAÇÃO E  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*



Industrial Engineering, Florianopolis, SC, Brazil, v. 6, n. 12, p. 48-72, 2014. Disponível em:  
[http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2438/pdf\\_60](http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2438/pdf_60)

MONTEVECHI, J.; PINHO, A. de; LEAL, F.; MARINS, F. **Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry.** In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2007. DOI: [10.1145/1351542.1351830](https://doi.org/10.1145/1351542.1351830)

SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; OLIVEIRA, E. S.; ALMEIDA, D. A. **Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos.** Gest. Prod., São Carlos , v. 16, n. 3, p. 344-356, Sept. 2009. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2009000300003&script=sci\\_abstract&tlang=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2009000300003&script=sci_abstract&tlang=pt)

SIMÃO, D. R. A.; **Modelagem e simulação de sistemas a eventos discretos utilizando redes de Petri coloridas: Uma aplicação para o sistema da ferrovia Norte Sul.** Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestrado em engenharia elétrica – Belo Horizonte – MG. Fevereiro - 2020. Disponível em: <https://www.ppgue.ufmg.br/defesas/1721M.PDF>