

Simulação computacional no processo de calibração de carcaça de motores elétricos

Bruna de Freitas Zappelino (ASSESSORITEC) zappelino.bruna@gmail.com

Claudio Decker Junior (UDESC) claudiodecker@gmail.com

Sebastiam Johann Batista Perini (ASSESSORITEC) sebastiam.alisc@gmail.com

Roberli Leopoldino Cantidio (ASSESSORITEC) roberlicantidio@gmail.com

Resumo:

Experimentos industriais são realizados pelas empresas no intuito de melhorar as características de qualidade dos produtos e processos de fabricação. É possível reduzir o número de experimentos a serem executados, por meio de simulações computacionais, a fim de determinar com maior simplicidade ocupação de recursos e capacidade produtiva. Com a utilização do software Arena®, procurou-se otimizar a utilização de recursos e produtividade no setor de usinagem de carcaças de motores elétricos de uma empresa multinacional fabricante de motores elétricos. A alteração de processo propõe a substituição da usinagem da carcaça pelo processo de calibração, consequentemente evitando que cavacos metálicos entre em contato com o estator bobinado do motor. O uso da simulação comprovou que o processo proposto tem capacidade superior à meta produtiva e também que a mão-de-obra possui ociosidade, podendo-se estudar a possibilidade de realocação de dois colaboradores a outros setores da empresa. Por meio da simulação utilizando o Arena® foi possível aplicar o processo proposto, visando a melhoria de qualidade, e também não afetando na produtividade do setor. O processo proposto obtém uma melhor ocupação de recursos e também apresenta um incremento de produtividade em 525 pç/turno. Os resultados alcançados ao longo desse estudo mostram como a simulação computacional aliada a administração da manufatura, podem facilitar o aprimoramento do processo produtivo, por meio de ganhos de qualidade e produtividade.

Palavras chave: Simulação, processo, manufatura, planejamento experimental.

Computational simulation in the process of calibration of electric motor carcass

Abstract

Industrial experiments are performed by companies in order to improve product quality characteristics and manufacturing processes. It is possible to reduce the number of experiments to be carried out by means of computational simulations in order to determine more simply the occupation of resources and productive capacity. With the use of the Arena® software, we sought to optimize resource utilization and productivity in the machining industry of electric motors of a multinational company that manufactures electric motors. The process change proposes to replace the machining of the casing by the calibration process, consequently preventing metallic chips from coming into contact with the winding stator of the motor. The use of the simulation proved that the proposed process has superior capacity to the productive goal and also that the workforce has idleness, being able to study the possibility of reallocation of two employees to other sectors of the company. Through the simulation using the Arena® it was possible to apply the proposed process, aiming at the improvement of quality, and also not affecting in the productivity of the sector. The proposed process obtains a better occupation of resources and also presents an increase of productivity in 525 pç / shift. The results obtained during this study show how computational simulation combined with manufacturing management can facilitate the improvement of the production process, through gains in quality and productivity.

Key-words: simulation, process, manufacturing, experimental planning.

1. Introdução

Polenghi *et al.* (2018) enuncia que a segunda metade do século XX é caracterizada por simulação, seja em pesquisas, seja em campos industriais. Os engenheiros podem decidir pela seleção de uma configuração celular para o sistema de produção em vez de um layout de linha de transferência, e os gerentes de ativos podem otimizar as políticas de manutenção de um sistema com base em cenários simulados.

Barrera Diaz *et al.* (2018) citam que a simulação por eventos discretos é uma ferramenta de compreensão para a análise e projeto de sistemas de manufatura. Ao longo dos anos ocorreu uma evolução significativa nas formas de melhorar os processos de simulação.

Um entendimento mais profundo do sistema de produção em análise pode ser obtido e um dos benefícios que a simulação pode trazer é a redução de custos e aumento da produtividade (TAKO; ROBINSON, 2009).

Com isso, este artigo tem por objetivo simular uma alternativa de processo que substitui a usinagem da carcaça do motor elétrico por um processo de calibração. A análise dar-se-á visando uma melhor utilização dos operadores. O artigo está estruturado com a base teórica referente a modelagem e simulação no capítulo 2. No capítulo 3 os processos metodológicos, em seguida, no capítulo 4 os resultados e discussões obtidos com o modelo simulado e por fim no capítulo 5 as considerações finais.

2. Modelagem e simulação de sistemas

De acordo com Banks *et al.* (2005), a modelagem e simulação é a imitação de uma operação de um processo real ou sistema. É muito empregada no momento de testar alternativas, sem que nada seja modificado no sistema real, podendo inclusive detectar gargalos. Utiliza-se a simulação, principalmente, para testar novas alternativas antes da implementação de um novo projeto.

O modelo de simulação é utilizado para descrever o comportamento do sistema, que pode ou não existir e que é geralmente muito maior e complexo que o modelo. Este modelo geralmente utiliza diversos parâmetros sobre a operação do sistema e uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões sobre o sistema, e ainda, quaisquer mudanças no sistema podem ser simuladas a fim de prever o impacto no seu desempenho (MIYAGI, 2004).

Pegden (1991 apud FREITAS, 2008, p. 22) apresenta que simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, tendo o objetivo de entender o comportamento e avaliar as estratégias de operação. O método experimental busca: descrição do comportamento do sistema; construção de hipóteses considerando as observações efetuadas; utilização do modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados na operação.

A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os sistemas modelados para responder questões hipotéticas. O principal apelo ao uso dessa ferramenta, é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer tipo de perturbação, uma vez que os estudos são realizados em um ambiente virtual (FREITAS FILHO, 2008).

A simulação de sistemas de manufatura, fluxo e movimentação de materiais evolui-se de maneira complexa explicitando a necessidade de ferramentas de modelagem especial. O

software utiliza uma metodologia de modelagem de fluxograma, incluindo uma biblioteca de blocos de construção pré-definidos para modelar o processo, não precisando de uma linguagem de programação personalizada. O uso do Arena® pode auxiliar tanto empresas privadas, como públicas e também instituições de ensino. (PRADO, 2010; ALBERTI et al, 2015).

3. Procedimentos Metodológicos

Berto e Nakano (2000 apud CAUCHICK, 2010, p. 63) realizaram um estudo a respeito da utilização dos métodos de pesquisa nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep), avaliando a aplicação das diversas alternativas metodológicas. A simulação foi escolhida para este estudo. Seu objetivo é usar técnicas computacionais para simular o funcionamento de sistemas produtivos a partir de modelos matemáticos, analisando as consequências das possíveis mudanças no layout atual do sistema produtivo. A Figura 1 apresenta as etapas de experimentação da pesquisa.

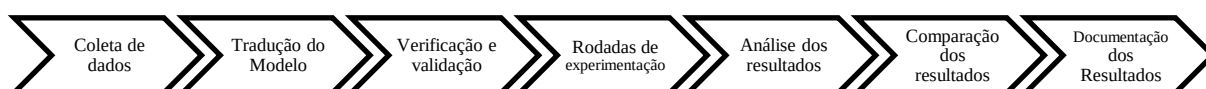


Figura 1 – Etapas da Experimentação

O estudo deu-se para a substituição do processo de usinagem pelo de calibração de carcaças. Será analisado o impacto que o novo processo terá por meio de simulações computacionais utilizando o Arena®. Como o processo de calibração encontra-se em fase de projeto, não são conhecidos os índices de desempenho e produtividade das novas células. O objetivo é por meio da simulação, prever a capacidade produtiva, com meta de 1200 peças/dia e a mão-de-obra necessária, inicialmente contando com o quadro atual de colaboradores em dois turnos.

4. Resultados e Discussões

O estudo delimita-se em motores de indução com rotor gaiola de esquilo. Esse tipo de motor de indução é o mais utilizado na indústria, em consequência à sua forma construtiva relativamente simples, pouca necessidade de manutenção, e custo reduzido quando comparado aos diversos tipos de motor.

O motor elétrico de indução é composto de duas partes: uma fixa, chamada de estator e outra móvel, chamada de rotor. Incomumente dos demais tipos de motores, a única parte do motor de indução que recebe alimentação de energia elétrica é o estator, enquanto o rotor não tem alimentação elétrica. O nome “gaiola de esquilo” é referenciado devido às barras e anéis de curto-circuito que compõe o rotor, sendo feitas em alumínio. As chapas magnéticas são em forma de coroa circular, possuindo ranhuras nas quais são preenchidas em alumínio, formando assim a gaiola.

O funcionamento desse tipo de motor de indução dar-se-á assim que o estator é energizado, fazendo com que linhas de campo magnético girante cortem o rotor. Uma diferença de potencial é induzida nas barras de alumínio e logo uma corrente elétrica começa a fluir por elas. Como o rotor é fabricado em material condutor e estão em curto circuito, a corrente no rotor cresce de forma a torná-lo um eletroímã, logo essa parte móvel tentará acompanhar a movimentação do campo girante, iniciando assim o funcionamento de um motor elétrico de indução gaiola de esquilo (KOSOW, 2005).

O estator bobinado é a parte fixa do motor, podendo ter enrolamentos em cobre ou alumínio, por onde fluirá a corrente elétrica responsável em magnetizar o motor. A carcaça é o componente responsável em sustentar o motor, protegendo a possíveis impactos mecânicos e condições químicas e climáticas. Os materiais em que as carcaças são fabricadas são variados, pois baseiam-se em aplicação e exposição do motor. Nesse trabalho será estudado motores em carcaça de chapa em aço SAE 1006/1008. O estator bobinado é inserido dentro da carcaça e preso por um pino elástico, formando assim um conjunto. A Figura 2 apresenta a vista explodida de um motor elétrico de indução gaiola de esquilo.

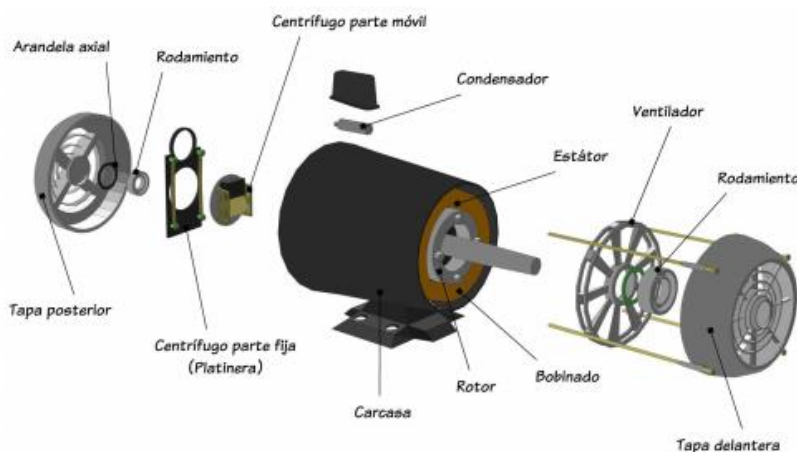


Figura 2 – Motor elétrico de indução gaiola de esquilo

O processo estudado inicia-se na fabricação de carcaças, finalizando na célula de usinagem de carcaças.

4.1 Cenário atual x cenário proposto

A Figura 3 apresenta o fluxograma simplificado de processo do cenário atual.

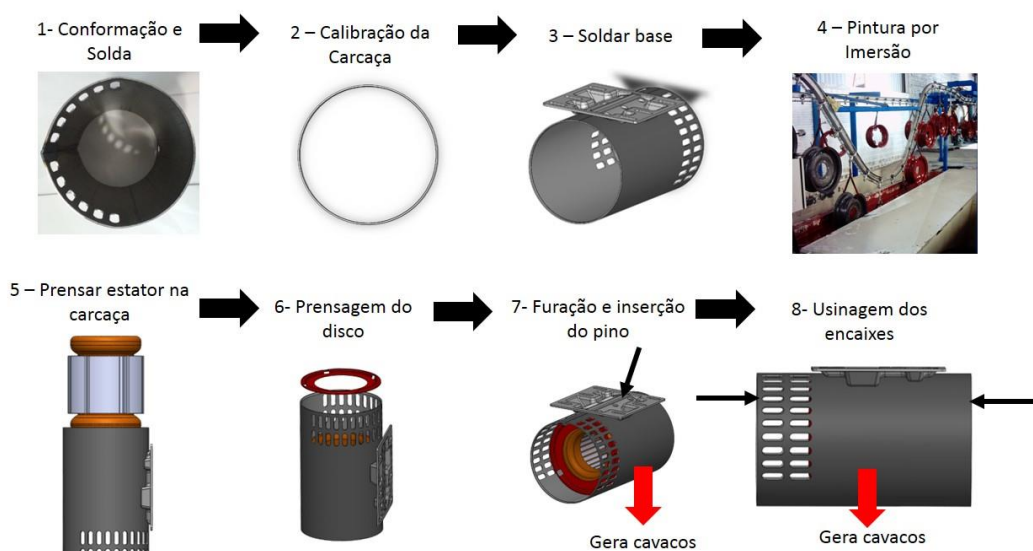


Figura 3 – Fluxograma do processo –cenário atual

As operações 1 a 4 são feitas em uma célula de produção definida como fabricação de carcaças. Já as operações 5 a 7 são da área referente a pré-montagem de motores elétricos, sendo uma

complementar a outra. O principal objetivo em substituir o processo de usinagem pelo de calibração é a eliminação de cavacos na operação, sendo esse tipo de contaminação no motor elétrico o principal causador de curto circuito. De acordo com o fluxograma, as operações em que geram cavacos (operações 6 e 7) são executadas após prensagem do estator bobinado na carcaça. O estator bobinado é praticamente o elemento funcional mais crítico de sua estrutura e requer manuseio cuidadoso, pois qualquer amassamento ou rompimento dos fios, o funcionamento do motor estará comprometido. O cavaco produzido nessa operação é moderadamente curto, pois a taxa de remoção de material é relativamente pequena, não comprometendo a qualidade da superfície gerada.

A Figura 4 mostra como a carcaça com estator bobinado ficam após a operação 7. Nota-se que a peça apresenta diversos cavacos em seu interior, revelando como essa contaminação interna da peça fica próximo aos enrolamentos do estator bobinado.



Figura 4 – Carcaça com estator montado e usinado

No detalhamento do *layout* do processo atual foram realizadas a coleta de macro informações e dados, uma etapa de fundamental importância, pois nela que se baseia todo o modelo de simulação que será criado. A linha de fabricação de carcaças é idealizada com *layout* em série. Atualmente apresenta dois colaboradores e capacidade estimada de 600 peças/turno.

Para substituição do processo atual pelo processo de calibração, o fluxograma do cenário proposto para alteração do processo é apresentado na Figura 5.

No processo proposto somente uma operação irá gerar cavacos e não terá contato com o estator bobinado eliminando qualquer contaminação. Para o planejamento experimental, as variáveis que serão controladas a fim da verificação do batimento estão nas operações 1 e 2. Após todo o processo, o conjunto carcaça com estator bobinado será inspecionado e retiradas as medições de batimento, ou seja, após operação 8.

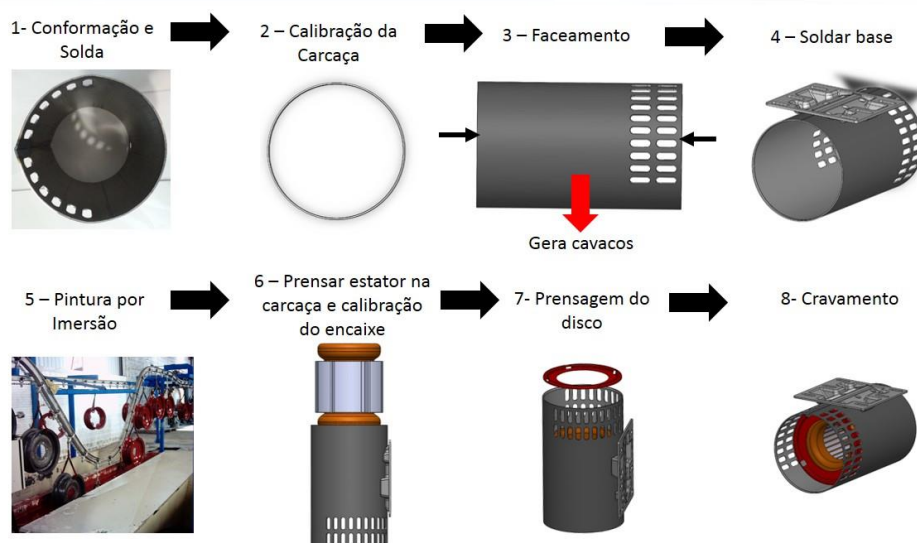


Figura 5 – Fluxograma do processo –cenário proposto

4.2 Parâmetros da simulação

Os tempos de cada atividade do processo foram retirados do sistema de gestão da empresa, sendo que os mesmos foram cronometrados pelo setor de engenharia de processos. Há um módulo de tempos e métodos e para cada tipo de produto, onde são apresentados o tempo de preparação, abastecimento, processo e desvio padrão de cada operação.

Na entrada dos tempos de cada atividade no modelo, foram inseridos o tempo médio mais um desvio padrão dentro de uma distribuição normal, fato esse que representa muito mais a realidade de uma rotina de trabalho padronizado. No Arena® também são introduzidas informações como distâncias entre os postos de trabalho, velocidade da esteira (*conveyor*), movimentações, entre outros, tendo uma aproximação da realidade do sistema simulado. A Tabela 1 compara os tempos para cada operação.

Processo atual		Tempo da operação (s)	Desvio padrão (s)
Seq.	Operação		
1	conformação e solda	37	-
2	calibração	6	2
3	solda da base	26	1,9
4	pintura por imersão (contínuo)	Vel.monovia (1,32m/min); Dist.86m	-
5	prensagem do estator	26	2,5
6	prensagem do disco	34	2,3
7	furação e inserção do pino elástico	58	6
8	usinagem do encaixe		

Processo Proposto		Tempo da operação (s)	Desvio padrão (s)
Seq.	Operação		
1	conformação e solda	37	-
2	calibração	6	2
3	solda da base	26	1,9
4	faceamento da carcaça	21	2,3
5	pintura por imersão (contínuo)	Vel.monovia (1,32m/min); Dist.86m	-

6	prensagem do estator e calibração do encaixe	21	2,3
7	prensagem do disco		
8	cravamento	17	6

Tabela 1 – Tempos de cada operação

A principal intenção das simulações é comparar o cenário atual com a nova proposta de alteração, visando melhoria na qualidade do produto. Caso seja verificado ociosidade de recursos algumas simulações serão rodadas a fim de dar suporte a empresa no balanceamento futuro de operações.

Os seguintes dados de entrada foram utilizados na simulação do processo proposto:

- os modelos foram simulados para dois turnos de produção;
- definido uma hora de *warm up*, esse tempo não é levado em consideração como tempo de produção (objetivo de estabilizar o sistema e deixá-lo em fluxo sendo suficiente pois os tempos de processo são pequenos, em segundos);
- foram feitas 10 replicações de simulação, logo o resultado final é uma média de dez simulações.

O número estabelecido de replicações são suficientes, pois o relatório do Arena® não gera dados correlacionados ou sem dados de *half-width*. (A margem de erro é usualmente definida como *half the width* de um intervalo de confiança para uma estatística). A modelagem da lógica dos blocos efetuada no Arena® estão demonstrada no Apêndice 1, do cenário atual e do proposto.

4.3 Resultados da simulação

Após encerrar a fase de modelagem, inicia-se a fase de experimentação, onde são rodadas as simulações e ajustes são feitos caso necessário, na etapa de verificação e validação, e em seguida os resultados são gerados. No Arena® os resultados são gerados dentro de um intervalo de confiança de noventa e cinco por cento. Primeiramente a célula de fabricação de carcaças é analisada, sendo que o período de simulação abaixo refere-se a um turno.

Nesse setor a única mudança entre o estado atual e o proposto é a inclusão da operação de faceamento de carcaças. Ambas situações foram simuladas e apresentaram o mesmo número de produção, conforme Tabela 2.

Item	Média	Desvio Padrão
Peças produzidas (peças)	637	-
Base de carcaça (peças)	128,90	0,23
Blanks N48	300,60	0,60
Blanks N56	336,00	0,00

Tabela 2 - Quantidade produzida/turno, estado proposto célula de fabricação de carcaças

Logo conclui-se que para essa célula de produção a alteração do processo não irá interferir na meta produtiva, pois de acordo com o modelo o setor de fabricação de carcaças terá capacidade de produção de 1274 (637x2) peças por dia. Nesse modelo de simulação foi previsto ainda o pior cenário de simulação, contando com trocas de ferramenta na máquina “gargalo” do setor.

Por meio do mesmo relatório, podem ser extraídas informações como o percentual de ocupação dos recursos, observa-se ociosidade entre alguns recursos, conforme Tabela 3.

Utilização dos recursos (%)	Média	Desvio Padrão
Máquina solda automática	1,0000	0,00
Operador- faceamento carcaça	0,4529	0,00
Operador – Solda base	0,6001	0,00
Operador – Solda e calibração	0,3049	0,00

Tabela 3 - Ocupação de recursos, estado proposto célula de fabricação de carcaças

Ao analisar a Tabela, nota-se uma significativa ociosidade do operador de solda e calibração (média 0,3049). Esse índice é justificado devido o mesmo fazer o abastecimento da máquina automática de solda. Enquanto a máquina executa a soldagem da peça o colaborador faz a calibração, ainda tendo um tempo de espera da máquina. Como essa máquina apresenta uma ocupação de 100%, identifica-se a máquina “gargalo” do setor, sendo que o seu abastecimento deve ser ininterrupto. Dessa forma, o operador que executa essa operação não pode agregar mais atividades em seu ciclo. Algumas rodadas de simulação foram feitas acrescentando a próxima operação a esse colaborador, porém o número de peças produzidas reduziu significativamente. Portanto, tornando-se aceitável esse índice de ocupação de recurso

Pode-se sugerir um sistema de alimentação automática, logo aproveitando esse recurso a outra atividade. Outras rodadas de simulação foram efetuadas com duas máquinas, porém o aproveitamento do recurso foi reduzido em torno de 60%, o que não justifica o investimento, já que a produção não aumentou significativamente.

Nessa célula o número de colaboradores manteve-se, somente incluiu-se um colaborador para a operação de faceamento de carcaças que foi incluída nesse setor. Com as simulações executadas dessa célula, conclui-se que para um melhor aproveitamento dos operadores, pode ser estudado algum sistema de automatização que permita que as operações de faceamento da carcaça ou soldagem da base seja executada em menor tempo de ciclo.

Após a pintura por imersão as carcaças são encaminhadas ao setor de pré-montagem, para tanto, nessa célula foram executadas simulações distintas, pois trata-se de outro setor produtivo. Os resultados foram diferentes entre o processo proposto e atual. No processo atual a célula de pré-montagem apresenta 5 colaboradores e o número de peças por turno foi de 847,10 com um desvio de 1,89.

O percentual de ocupação dos 5 colaboradores na célula de pré-montagem para o processo atual é apresentado na Tabela 4.

Utilização dos recursos (%)	Média	Desvio Padrão
Operador furação do pino	1,0000	0,00
Operador- prensagem do bobinado	0,7648	0,00
Operador – prensagem do disco	1,0000	0,00
Operador – usinagem	0,8516	0,00

Tabela 4 - Ocupação de recursos, estado atual célula de pré-montagem

A operação com maior tempo de ciclo é a de usinagem de carcaças, essa operação é executada por dois operadores. No processo proposto é feita a eliminação desse posto da pré-montagem e incluída a operação de faceamento no setor de fabricação de carcaças.

A célula proposta apresentou o número de peças produzidas por turno de 1371,70 de média com um desvio de 4,46.

No processo proposto há um incremento na produção por turno de 525 peças comparado ao processo atual. Outra diferença significativa está no aproveitamento dos recursos da célula de pré-montagem, visto que foram feitas várias simulações e para esse número de produção, a linha proposta necessita de somente dois colaboradores. Na Tabela 5 pode-se verificar a ocupação de cada um dos dois colaboradores.

Utilização dos recursos (%)	Média	Desvio Padrão
Operador – cravamento	0,8066	0,00
Operador- prensagem do bobinado e disco	1,0000	0,00

Tabela 5 – Ocupação de recursos, estado proposto célula de pré-montagem

Conclui-se que para o processo proposto na célula de pré-montagem houve um incremento de produção de 525 peças por turno, porém a nova célula proposta há uma redução de três operadores do quadro de colaboradores.

4.4 Discussão dos resultados das simulações no Arena

Após os resultados das simulações do estado atual e o proposto da linha, é possível afirmar que a meta produtiva é alcançada em ambos os casos. A inclusão de uma nova operação no setor de fabricação de carcaças não influenciou na produção/turno, mantendo-se por dia 1274 carcaças, para uma meta de 1200 peças. Os colaboradores apresentaram certa ociosidade, será sugerido a empresa trabalhos focados na redução de tempo de ciclo das máquinas ou na automatização de algumas operações.

A Tabela 6 mostra um resumo comparativo entre o processo proposto e o atual, resultado de várias simulações, sendo essa proposta, a melhor encontrada.

PROCESSO ATUAL			
	Número de Colaboradores	Aproveitamento	Produção/Turno e (Erro)
Setor: Fabricação de Carcaças	1) Maq. Solda Automática	100%	637 (0,83)
	2) Op. Solda da Base	60%	
	3) Op. Solda e Calibra	31%	
Setor: Usinagem de Carcaças	4) Op. Prensagem Bobinado	77%	847 (1,89)
	5) Op. Furação Pino	100%	
	6) Op. Prensagem Disco	100%	
	7) Op. Usinagem	85%	
	8) Op. Usinagem	85%	
TOTAL	7 colaboradores		
PROCESSO PROPOSTO			
	Número de Colaboradores	Aproveitamento	Produção/Turno e (Erro)
Setor Fabricação de Carcaças	1) Maq. Solda Automática	100%	637 (0,83)
	2) Op. Solda da Base	60%	
	3) Op. Solda e Calibra	31%	
	4) Faceamento Carcaças	46%	
Setor Calibração de Carcaças	1) Op. Prensagem Bob./Disco	100%	1372 (4,46)
	2) Op. Cravamento	81%	
TOTAL	5 colaboradores		

Tabela 6 – Resumo comparativo dos resultados simulados

5. Considerações Finais

Durante a simulação computacional utilizando o Arena® os cenários foram construídos e analisados, e, por fim, foi selecionado o cenário que melhor atendia a situação proposta, levando em consideração todas as restrições do processo.

O objetivo se concretizou e o processo proposto se mostrou eficiente dentro dos parâmetros estipulados.

Nos tempos de cada atividade estão inseridos um desvio padrão e uma distribuição normal de probabilidades, assim, os resultados demonstram muito mais a realidade que apenas um valor médio, normalmente utilizado por planilhas eletrônicas.

Os tempos de movimentação e deslocamento também são um diferencial ao se usar um programa de simulação, pois os mesmos interferem no sistema e devem ser calculados para um melhor resultado.

A simulação apresentou pontos importantes para a definição da proposta de processo, tais como: a identificação de gargalos; teste real da produtividade de cada célula; medição e aperfeiçoamento da ocupação de cada recurso; redução de custos, visto que com o processo proposto houve redução de 2 colaboradores e um incremento na produção, comparado ao *layout* anterior e ainda dimensionamento correto da mão-de-obra.

Um resultado de extrema importância desse trabalho foi mostrar às pessoas envolvidas no estudo a validade de analisar cientificamente o processo de transformação e, com isso incentivar o uso dessas técnicas junto a empresa. Na medida em que os experimentos eram realizados os pesquisadores foram adquirindo informações técnicas do processo de fabricação e os colaboradores da empresa foram se familiarizando com os conceitos de simulação aplicados.

A fim de comprovar os resultados obtidos, pode-se validar o resultado através de experimentos confirmatórios, afinal os resultados obtidos são frutos de um modelo estatístico.

Referências

ALBERTI, R.A.; FURTAD, J.C.; KIPPER, L. M. *Simulação como ferramenta no ensino de engenharia: problematização e promoção da vivência em processos produtivos*. Revista de Ensino em Engenharia, vol.34, n.1, p. 73-83, 2015.

BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. L. *Discrete – Event System Simulation*. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2005. 608p.

BARRERA-DIAZA, C. A., OSCARSSONA, J., LIDBERGB, S.; SELLGREN, T. Discrete Event Simulation Output Data-Handling System in an Automotive Manufacturing Plant. In *8th Swedish Production Symposium, SPS 2018*. Elsevier.

CAUCHICK, Paulo. *Metodologia da Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

FREITAS FILHO, Paulo José de. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

KOSOW, Irving L. *Máquinas Elétricas e Transformadores*. 15 ed. São Paulo: Globo, 2005.

MIYAGI, P. E. *Introdução a Simulação Discreta*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. SP, 2004.

PRADO, D.S. *Usando ARENA em simulação: INDG – Tecnologia e serviços*, 2010.

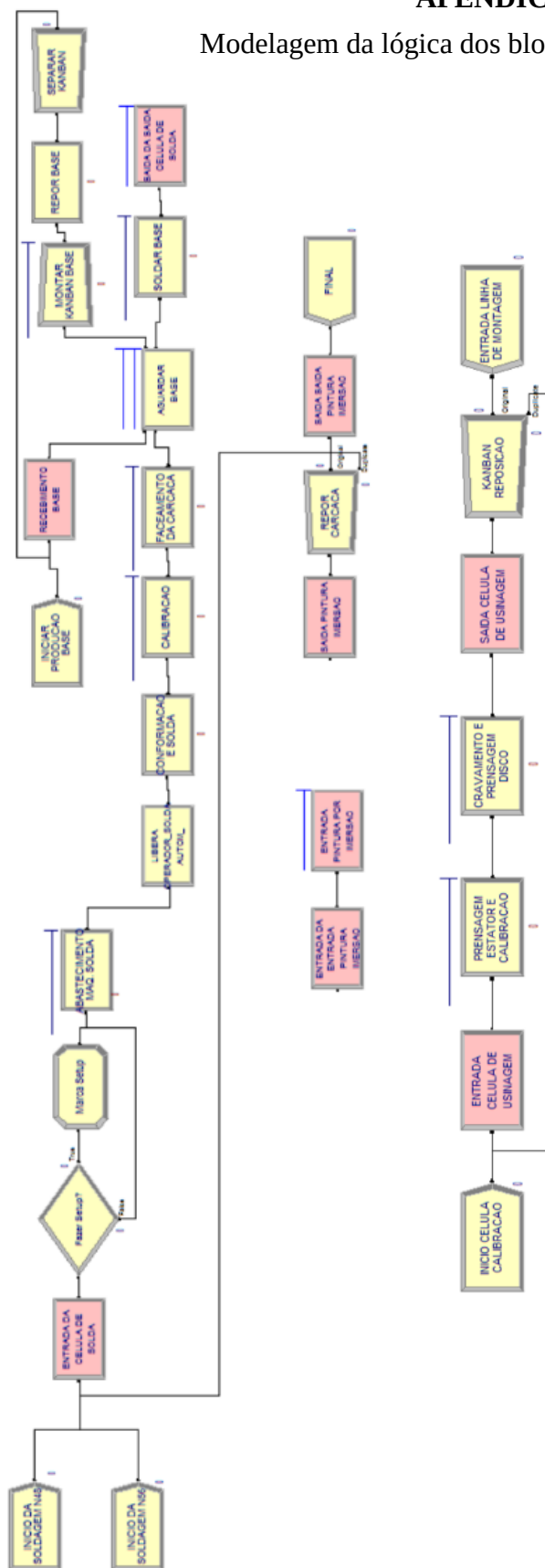
POLENGHI, A.; FUMAGALLI, L.; RODA, I. *Role of simulation in industrial engineering: focus on manufacturing systems*. IFAC-PapersOnLine, v. 51, n. 11, p. 496-501, 2018.

TAKO, A.A.; ROBINSON, S. Comparing discrete-event simulation and system dynamics: users' perceptions, Journal of the operational research society, Vol.60, p.296-312, 2009.

APÊNDICE 1

Modelagem da lógica dos blocos efetuado no Arena®

FLUXOGRAMA PROCESSO ATUAL



FLUXOGRAMA PROCESSO PROPOSTO

