

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE PLACAS ELETRÔNICAS UTILIZANDO A SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS (SED)

VILELA¹, Flávio Fraga; **PRADO**², João Pedro Nicacio do; **TENÓRIO**², Patrick Edson Costa.

1 - Professor da Universidade do Vale do Sapucaí

2 - Graduando em Engenharia de Produção na Universidade do Vale do Sapucaí

flaviofvilela@univas.edu.br; joaopnprad@gmail.com; tenpatrick007@gmail.com

RESUMO

A simulação a eventos discretos (SED), por sua natureza virtual em contraste com a física, destaca-se como uma das abordagens mais eficazes não apenas para facilitar a tomada de decisões em organizações, mas também para contribuir para o planejamento estratégico, a consolidação de informações e a flexibilidade na manufatura, entre outros aspectos. Dessa forma, o presente estudo visa utilizar a SED para prever a quantidade de placas eletrônicas produzidas, por meio do método de modelagem e simulação. Nessa análise consideraram-se três cenários para a linha de montagem, onde ao final de cada simulação foram previstas as quantidades produzidas para cada cenário, sendo 2107 placas para o cenário neutro, 1764 placas para o cenário pessimista e 2303 placas para o cenário otimista. Nos três cenários foram gerados descartes com quantidade de 43 placas para o cenário neutro, 36 placas para o cenário pessimista e 47 placas para o cenário otimista. Logo, o objetivo estabelecido foi alcançado com êxito através da aplicação da simulação a eventos discretos na linha de montagem, e foi possível prever as quantidades de placas produzidas para os cenários propostos.

Palavras-chave: Modelagem e Simulação a Eventos Discretos; Linha de Montagem de Placas e Análise de Cenários.

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico, gerencial e mercadológico no setor produtivo nos últimos anos, é consequência de diversos avanços na tomada de decisão e análise de processos. Dessa maneira, torna-se cada vez mais necessário um planejamento assertivo das linhas produtivas, com a finalidade de obter uma alta

performance do seu processo e, conseqüentemente, aumento na produtividade. Assim, a simulação a eventos discretos (SED), faz-se fundamental para o melhor suporte na tomada de decisão e avaliação de desempenho de sistemas produtivos, visto que não necessita de alteração física na linha de montagem para propor melhorias.

Para Chwif e Medina (2010), um modelo de simulação é uma forma simplificada de enxergar o comportamento de um sistema, visto que ele permite a visualização de cenários reais de maneira abstrata. Em contrapartida, se o modelo desenvolvido oferece uma visualização complexa, o desenvolvedor encontrará informações irrelevantes que afetarão diretamente o objetivo central da aplicação do mesmo. Dessa maneira, expor de forma clara e objetiva o conceito central em uma simulação, é primordial para o melhor entendimento das informações. A importância desse fato constatado pelo autor, é devido à complexidade de alguns modelos de softwares quanto à disponibilização das informações geradas ao final do modelo construído. Segundo o autor, para evitar conflitos na consolidação de informações entre os ambientes real e computacional, assim como outros possíveis problemas na construção e extração de dados do modelo, é de extrema importância utilizar somente o que realmente traz impacto no processo.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo utilizar a SED para prever a quantidade de placas eletrônicas produzidas em uma empresa situada em Santa Rita do Sapucaí-MG. Por meio do método de modelagem e simulação (TURRONI; MELLO, 2012), pretende-se simular diferentes cenários e parâmetros nas linhas de produção, a fim de propor melhorias para o processo de montagem de placas eletrônicas desta empresa. Esse modelo visa simular qual o desempenho da produção em diferentes cenários e expor o mais eficaz. Na construção do modelo computacional, utilizou-se o software *Flexsim*®, uma ferramenta importante de modelagem e simulação, amplamente empregada em áreas como projetos e aprimoramento de armazéns, logística e otimização de linhas de produção (CHEN *et al.*, 2013).

Por fim, ao final de cada simulação foram previstas as quantidades produzidas para cada cenário, sendo 2107 placas para o cenário neutro, 1764 placas para o cenário pessimista e 2303 placas para o cenário otimista. Nos três cenários foram gerados descartes com quantidade de 43 placas para o cenário neutro, 36 placas para o cenário pessimista e 47 placas para o cenário otimista.

2 SIMULAÇÃO

2.1. SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS (SED)

De acordo com Banks (1998), a simulação é concebida como um processo de imitação de processos reais por um período de tempo determinado. Chung (2004) define que a modelagem e simulação são processos que envolvem a criação e experimentação de sistemas físicos por meio de modelos matemáticos computadorizados. Essas técnicas oferecem uma ferramenta poderosa para a geração de cenários, condução de análises de sistemas, orientação na tomada de decisões e proposição de soluções para aprimorar o desempenho.

O Quadro 1 destaca diferentes conceitos de simulação de acordo com seus respectivos autores, demonstrando elementos comuns para melhor compreensão. É evidente que não há uma clara distinção conceitual entre "simulação" e "simulação computacional", inclusive.

Quadro 1 - Conceitos de Simulação Computacional

Autor	Conceito
SCHRIBER (1971)	“Envolve a criação de um modelo que representa um processo ou sistema, de modo que o modelo possa reproduzir as respostas do sistema real em uma sequência de eventos que ocorrem ao longo do tempo.”
SHANNON (1975)	“Um modelo computacional é um programa de computador que simula o comportamento dinâmico e estocástico de um sistema real, reproduzindo suas características e variáveis.”
EHRlich (1976)	“Refere-se a uma abordagem utilizada para analisar o desempenho de um sistema, através da criação de um modelo matemático que possui características idênticas ou, pelo menos, semelhantes às do sistema original.”
SIMON (1981)	“É uma técnica utilizada para adquirir compreensão e prever o comportamento de sistemas, que remonta ao período anterior ao advento dos computadores digitais. Pode assumir a forma de um experimento mental que nunca foi efetivamente implementado dinamicamente.”
PEGDEN (1991)	“Simulação é o processo de criar um modelo computacional de um sistema real e realizar experimentos com esse modelo, com o objetivo de compreender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.”
HOLLOCKS (1992)	“A simulação é uma técnica de pesquisa operacional que consiste em desenvolver um programa computacional para representar uma parte do mundo real, de modo que os experimentos realizados no modelo sejam uma previsão do que ocorrerá na realidade.”
PIDD (1998)	“A simulação computacional envolve o uso de um modelo como base para explorar e experimentar a realidade.”

Fonte: Adaptado de FREITAS FILHO(2008), CARVALHO (2006)

Com base no exposto, é importante destacar que a simulação computacional tem a capacidade de ser aplicada mesmo em sistemas que ainda não existem, permitindo antecipar problemas que só seriam descobertos após sua implementação física. Portanto, a simulação, como método de pesquisa, requer uma abordagem que envolva tanto o conhecimento racional quanto o empírico. A abordagem racional envolve o esforço intelectual na modelagem conceitual dos problemas, seja com base em objetos concretos ou produtos de experimentos mentais. Por sua vez, a abordagem empírica permite depurar os problemas abordados por meio de um processo de tentativa e erro.

2.2. Etapas de um projeto de SED

2.2.1. Concepção

Segundo Pinho et al. (2009), quando o analista desenvolve o problema em sua mente, o modelo conceitual ainda é abstrato. Portanto, é necessário utilizar uma técnica de representação para alinhar as ideias, permitindo que outras pessoas compreendam de forma clara o que está sendo proposto e torná-lo o mais fiel possível à realidade. Com esse propósito, Leal, Almeida e Montevechi (2008) propuseram a técnica IDEF-SIM (Integrated Definition Methods - Simulation), que se concentra na simulação de sistemas, mas também é altamente aplicável a projetos de melhoria em geral.

De acordo com Maciel (2016), a principal característica do IDEF-SIM é a sua lógica de aplicação, que é idêntica à lógica utilizada na simulação de eventos discretos. Essa característica tem como objetivo criar um modelo conceitual do processo a ser simulado, incorporando os elementos necessários na fase de modelagem computacional.

O IDEF-SIM facilita a visualização do processo, permitindo a posterior criação do modelo computacional. Portanto, para o desenvolvimento deste trabalho, foi inicialmente construído o modelo conceitual IDEF-SIM, seguido pelo desenvolvimento do modelo computacional.

2.2.2. Implementação

O *Flexsim*® é um programa comercial para modelagem e simulação de sistemas, criado pela *FlexSim Software Production*. Ele integra recursos de imagens em 3D, simulação de sistemas discretos e tecnologia de processamento avançada, resultando em uma solução abrangente (LINWEI; LI, 2012). O *software Flexsim*® é capaz de modelar dados de entrada e conduzir experimentos de simulação para aprimorar o desempenho

do sistema. Essa funcionalidade auxilia na detecção de gargalos e recursos subutilizados (QINGTIAN, 2014; ZHU *et al.*, 2014).

Conforme mencionado por Ladier e Alpan (2016), o modelo de simulação é desenvolvido para reproduzir o funcionamento regular em concordância com um horário específico, incorporando regras de tomada de decisão que auxiliam no gerenciamento das operações durante situações de interrupção.

2.2.3. Análise

Nesta fase final do projeto de SED, o modelo computacional validado, agora denominado modelo operacional, está pronto para receber uma variedade de experimentos. Em um estudo conduzido por Montevechi *et al.* (2010), essa etapa é realizada por meio de um projeto de experimentos, que consiste em testes planejados nos quais os fatores são deliberadamente modificados para avaliar seu impacto em uma resposta específica. Um experimento pode ser definido como um teste no qual mudanças propostas são aplicadas às variáveis de entrada de um processo, a fim de observar e identificar alterações nas variáveis de saída. Após a conclusão das etapas de verificação e validação, o modelo de simulação se torna operacional e se torna uma poderosa fonte de experimentos estatísticos utilizados na análise do comportamento do sistema. Dessa forma, diversos experimentos de simulação são realizados com o modelo desenvolvido, originando-se de perguntas como "o que ocorre se..." (CHWIF; MEDINA, 2010).

Os autores ressaltam que, devido ao caráter aleatório dos processos de entrada na simulação, as saídas também serão aleatórias. Portanto, é desaconselhável tirar conclusões baseadas em uma única replicação da simulação. Ao definir cada cenário, é importante que o profissional responsável pela simulação considere quais variáveis de entrada devem ser modificadas e quais variáveis de saída serão analisadas.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para Robert K. Yin (2001), um proeminente pesquisador de metodologia de pesquisa, um estudo de caso é definido como: "Uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos." O método de estudo de caso será aplicado para atingir os objetivos da pesquisa. A seleção do caso se concentrará em uma empresa ou organização que tenha

implementado ou esteja considerando a implementação de uma simulação computacional em sua linha de montagem. A metodologia geral incluirá as seguintes etapas:

- **Seleção do Caso:** Identificação da empresa ou organização que seja relevante para o estudo e que possibilite desenvolver uma simulação computacional em sua linha de montagem.
- **Coleta de Dados:** Coleta de dados por meio análise de documentos e registros relevantes. Isso incluirá informações sobre os sistemas de produção existentes e a implementação da simulação.
- **Análise dos Dados:** Análise qualitativa dos dados coletados para identificar os benefícios e limitações da simulação computacional. Serão explorados aspectos relacionados à eficiência, qualidade e sustentabilidade.
- **Discussão e Conclusões:** Discussão dos resultados à luz dos objetivos da pesquisa, e conclusões sobre a aplicabilidade da SED no processo.

Espera-se que este estudo de caso contribua para uma compreensão mais profunda da aplicação da SED no sistema operacional da organização, especificamente em linhas de montagem. Além disso, a pesquisa poderá fornecer insights valiosos para a empresa caso a mesma esteja considerando a implementação da simulação como parte de seus esforços de otimização de processos. A pesquisa pode destacar as melhores práticas, desafios comuns e áreas onde a simulação pode fazer a diferença.

O método de estudo de caso é uma abordagem sólida para investigar a aplicação da simulação computacional. A análise detalhada de um caso específico permite uma compreensão profunda e contextualizada dos benefícios e limitações dessa tecnologia. O resultado deste estudo de caso pode fornecer uma contribuição significativa para a literatura e prática de SED, bem como para empresas que buscam aprimorar suas operações de montagem.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. Objeto de estudo

A empresa utilizada para este estudo é uma das vertentes do Grupo X, que, com mais de 20 anos de experiência, é um exemplo de solidez no mercado nacional. O objeto de estudo está direcionado a uma linha de montagem de placas eletrônicas, portanto, a empresa escolhida para o presente trabalho é uma indústria pertencente ao ramo tecnológico, no qual oferecem um produto de solução e inovação a seus clientes.

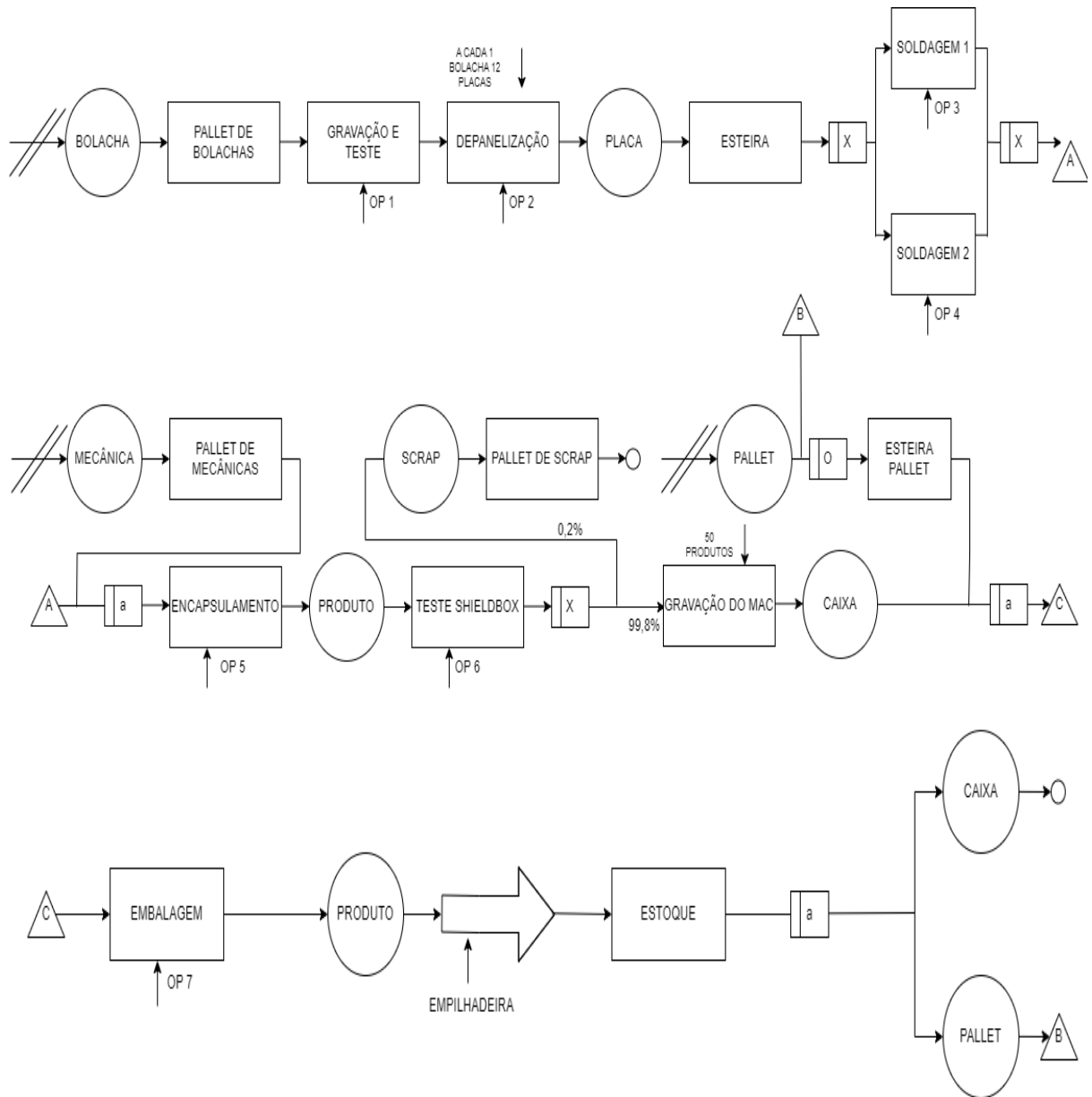
4.2. Concepção

4.2.1. Concepção do modelo conceitual

Após estabelecidos os objetivos e o sistema a ser simulado, a etapa seguinte envolve a elaboração do modelo conceitual do sistema. Através da técnica IDEF-SIM, é viável criar um modelo conceitual de maneira precisa e eficiente, resultando em uma redução significativa do tempo necessário para o desenvolvimento do modelo computacional (LEAL, ET AL., 2008).

Conforme a Figura 1, o processo se inicia com a gravação e teste após a inserção da matéria-prima, e prossegue para etapa de depanelização onde a matéria-prima é dividida em outras 12 peças e da continuidade para o processo após a matéria-prima se tornar uma placa, em sequência a esteira ocorrerão os processos de soldagem com uma porta lógica “ou” onde a linha conta com duas operações para agilizar o processo. Dando seguimento com a inserção das mecânicas, o produto é passado pelo encapsulamento onde é feita a junção das peças, a próxima etapa é a realização do teste onde é separado os produtos defeituosos com uma taxa de apenas 0,2% de reprovação, os produtos em funcionamento total são designados para a gravação do MAC. Após a gravação, o produto pronto deverá ser embalado e devidamente armazenado, o instrutivo de embalagem prevê que sejam embaladas placas em uma caixa com 50 unidades e assim armazenadas em lote, e após a caixa selada, paletizada e transportada por uma empilhadeira até o estoque de acabados, o produto é armazenado e o pallet é retornado ao processo.

Figura 1 - IDEF-SIM



Fonte: Os próprios autores

4.2.2 Coleta de dados do processo

Segundo Chwif e Medina (2006), o processo de coleta de dados é de suma importância para SED, devido à amostra depositada na validação de dados pré-simulação computacional, então este estudo estatístico utilizado para representar a população de interesse, e o objetivo central seria garantir o máximo de representatividade possível a amostra extraída. A coleta realizada gerou um estudo onde foi realizado um tratamento de dados, e foi possível obter o tempo médio e desvio padrão por posto para estruturação da distribuição normal na simulação, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo médio e desvio padrão por posto

Posto	Tempo Médio (s)	Desvio Padrão (s)
Gravação e teste	40,7	1,27
Depanelização	64,9	1,22
Soldagem 1	10,1	0,831
Soldagem 2	9,7	0,9
Encapsulamento	4,5	0,806
Teste shieldbox	4,7	0,781
Gravação MAC	4,6	0,663
Embalagem	4,1	0,7

Fonte: Os próprios autores

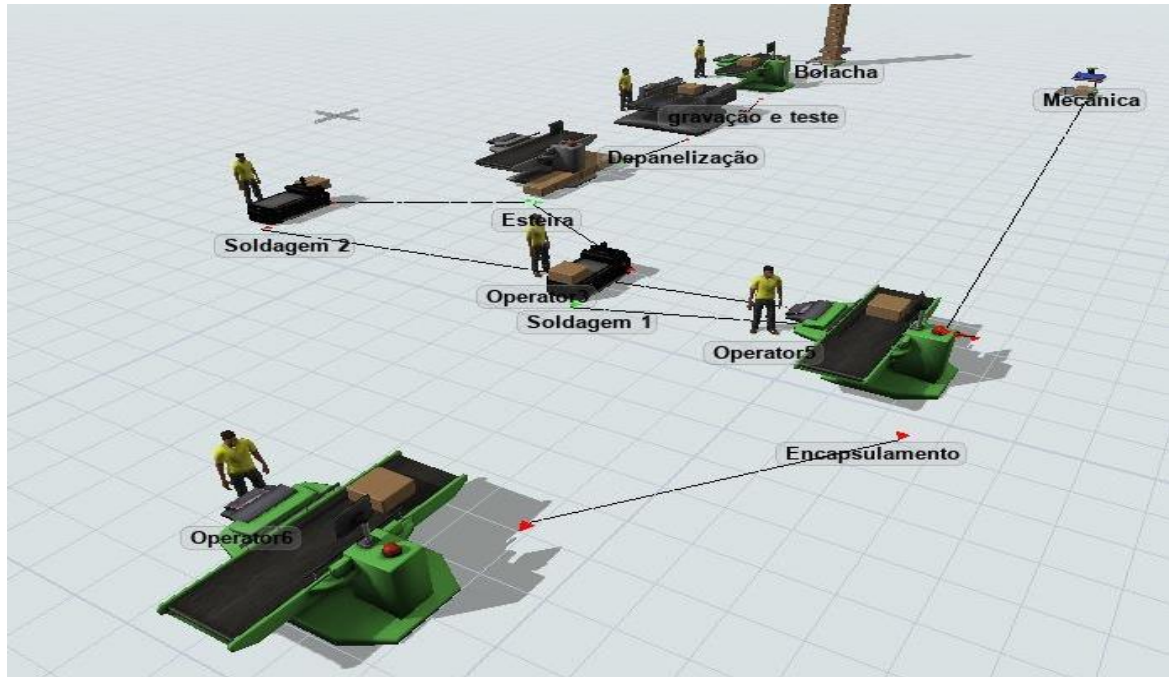
4.3 Implementação

4.3.1 Construção do modelo computacional

Com base na construção do modelo conceitual, realizada por meio da técnica IDEF-SIM, e dos dados de entrada apresentados no Quadro 2, foi utilizado o software FlexSim® para a construção do modelo computacional. Para o presente estudo, foi realizada a simulação com 8 horas de produção, visando apenas desempenho e capacidade, não foram consideradas demais paradas. A taxa de chegada definida para o processo foi através do *arrival schedule*, com quantidade total disponível no início do turno de trabalho pré-fixadas em 50 bolachas, quantidade pré-fixada pelo planejamento de produção da empresa com uma cobertura caso sobressaia a meta.

A ideia central da construção do modelo se caracteriza pelo Planejamento de produção com auxílio do setor de Processos da empresa definindo as etapas e simulando possíveis variáveis do processo, bem como calculando a capacidade produtiva máxima e possíveis cenários de paradas e perdas, dessa forma realizando um controle de produção mais preciso e eficiente.

Figura 2 - Modelo computacional da Linha de montagem de placas eletrônicas



Fonte: Os próprios autores

4.4 Análise

4.4.1 Definição dos cenários

Adentrando a parte de análise, é iniciada a etapa de definição de cenários, e foram definidos 3 cenários: neutro, pessimista e otimista. Os cenários foram definidos da seguinte forma, o cenário neutro seria o cenário ideal considerando a média e desvio padrão coletados, para o cenário pessimista seria considerado a perda de 20% na eficiência dos tempos, e o cenário otimista seriam considerados ganhos de 20% na eficiência dos tempos. Conforme a Tabela 2, para cada cenário foram atribuídos novos tempos de processamentos para cada estação de trabalho, conforme informado previamente pelo IDEF-SIM e na Tabela 1.

Tabela 2 - Tempos de processamento definidos pelos cenários

Cenário Neutro			Cenário Otimista			Cenário Pessimista		
Estação	Média	Desv.Pad.	Estação	Média	Desv.Pad.	Estação	Média	Desv.Pad.
Gravação e teste	40,7	1,27	Gravação e teste	32,56	1,02	Gravação e teste	48,84	1,52
Depanelização	64,9	1,22	Depanelização	51,92	0,98	Depanelização	77,88	1,46
Soldagem 1	10,1	0,831	Soldagem 1	8,08	0,66	Soldagem 1	12,12	1,00

Soldagem 2	9,7	0,9	Soldagem 2	7,76	0,72	Soldagem 2	11,64	1,08
Encapsulamento	4,5	0,806	Encapsulamento	3,60	0,64	Encapsulamento	5,40	0,97
Teste Shiel Box	4,7	0,781	Teste Shiel Box	3,76	0,62	Teste Shiel Box	5,64	0,94
Gravação MAC	4,6	0,663	Gravação MAC	3,68	0,53	Gravação MAC	5,52	0,80
Embalagem	4,1	0,7	Embalagem	3,28	0,56	Embalagem	4,92	0,84

Fonte: Os próprios autores

O objetivo central da simulação dos cenários seria as situações de produção e definições de previsões de estoque com base nas eficiências separadas em cenários neutro, otimista e pessimista.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os presentes resultados obtidos são provenientes das saídas de produto acabado, que pode ser visualizado na Tabela 3. Ao final de cada simulação foram geradas as quantidades para cada cenário, sendo 2107 placas para o cenário neutro, 1764 placas para o cenário pessimista e 2303 placas para o cenário otimista. Nos três cenários foram gerados descartes com quantidade de 43 placas para o cenário neutro, 36 placas para o cenário pessimista e 47 placas para o cenário otimista, se referindo a 0,2% de descarte.

Tabela 3 - Saída de produto acabado e descarte adaptado do *dashboard* do FlexSim® para os três cenários simulados.

Cenário	Taxa de saída (Placas)	Descarte
Neutro	2107	43
Pessimista	1764	36
Otimista	2303	47

Fonte: Os próprios autores

Verificando e analisando as saídas demonstradas nos *dashboards*, é possível observar um acréscimo de cerca de 9% na produção no cenário otimista, mesmo com uma otimização de 20% de todos os tempos de processamento. E no cenário pessimista temos um decréscimo de cerca de 16% na produção, com uma diminuição em 20% nos tempos de processamento. Portanto, conclui-se que os cenários para previsão e controle de produção com seguintes valores, dizem que as perdas nos tempos acabam

impactando mais do que os ganhos nos tempos, dessa forma a empresa deve prezar pela garantia da produção com os tempos no cenário neutro, e evitar grandes mudanças no processo que possam impactar tanto negativamente quanto positivamente, visto que tal ganho nos tempos representam menos do que a perda potencial nos tempos.

6 CONCLUSÃO

A SED por sua natureza virtual em contraste com a física, destaca-se como uma das abordagens mais eficazes não apenas para facilitar a tomada de decisões em organizações, mas também para contribuir para o planejamento estratégico. Neste presente trabalho, foi possível constatar que o objetivo estabelecido foi alcançado com êxito através da aplicação da simulação a eventos discretos na linha de montagem das placas, sendo possível observar que a quantidade de placas produzidas para os cenários propostos foi determinada. Portanto, ao final de cada simulação foram previstas as quantidades produzidas para cada cenário, sendo 2107 placas para o cenário neutro, 1764 placas para o cenário pessimista e 2303 placas para o cenário otimista. Nos três cenários foram gerados descartes com quantidade de 43 placas para o cenário neutro, 36 placas para o cenário pessimista e 47 placas para o cenário otimista. Logo, foi possível prever as quantidades de placas produzidas para os cenários propostos, sendo esta informação essencial para o planejamento e controle da produção (PCP) da empresa.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

CARVALHO, L. S. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial**. Dissertação de Mestrado, Salvador, Universidade Federal da Bahia, Escola de Administração, 2006.

CHUNG, C. A. (2004). *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Florida: CRC Press.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3ª edição. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA**, 2ª ed. Florianópolis: *Visualbooks*, 2008.

LADIER, A-L.; ALPAN, G. (2016). **Robust cross-dock scheduling with time Windows**. *Computers & Industrial Engineering*. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.003>

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

LEAL, Fabiano; ALMEIDA, DA de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, v. 40, p. 2503-2514, 2008.

LINWEI, X.; LI, Z. X. (2012). **Simulation and Optimization of Logistics Collaborative Operation Based on Flexsim**. *Mechanical Engineering and Technology*. Vol. 125, pp 543-457.

MACIEL, Lucio Flore. **Aplicação da simulação a eventos discretos no balanceamento de linha de montagem**. 2016.

PINHO, A.F.; LEAL, F.; MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F.S. **Utilização de Lego® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... Salvador – BA, 2009.

QINGTIAN, H. (2014). **Research on Simulation of Modern Storage System with Flexsim**. *Advanced Materials Research*. Vols. 989-994, pp 1477-1480.

SARGENT, R. G. **Validation and verification of simulation models**. In: Winter Simulation Conference, Washington, USA, 2004.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas**

quantitativas e qualitativas. 2012. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

YIN, ROBERT K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi - 2.ed. -Porto Alegre: Bookman, 2001.