

Simulação de Produção em Indústrias Alimentícias de Pequeno e Médio Porte: Um estudo de caso em uma indústria de snacks

José Maria de Carvalho Júnior (UFPE)
juniorcarvalho.eng@gmail.com

Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (UFPE)
cristianogesm@gmail.com



A constante busca das indústrias para elevar seus índices de produtividade e reduzir seus custos é indispensável para que possam estar competitivas no mercado. Sistemas de manufatura em batelada costumam apresentar variações de produtos e processos nos sistemas de produção. Planejar e executar essas operações, com excelência, pode ser uma tarefa de difícil execução, devido ao surgimento de gargalos e tempos de espera nas linhas de produção, que aumentam os custos associados. A Simulação de Eventos Discretos, modelagem de um sistema com uma sequência discreta de eventos no tempo, tem se mostrado uma eficiente ferramenta de suporte às tomadas de decisão na modelagem de fluxos de trabalho na indústria de transformação, devido ao seu baixo custo, quando comparado à forma empírica, por tentativa e erro. A disponibilidade e a qualidade de dados, fatores imprescindíveis para identificação do comportamento do sistema, são duas das questões mais desafiadoras na realização de projetos de simulação, sobretudo, em pequenas e médias indústrias, devido à ausência de investimento na coleta de dados e o complexo mapeamento de diferentes recursos. Foi desenvolvido um sistema supervisor para coleta de dados, através de uma rede industrial com protocolo de comunicação MODBUS, conectando os equipamentos da linha ao servidor onde o software foi instalado. Após um tempo de replicação de 6 dias, a simulação realizada no software ARENA® mostrou os gargalos da linha, capacidades produtivas das estações, tempos de espera e, combinado ao planejamento de produção, verificou-se que a maior limitação para um ótimo desempenho da linha é o baixo estoque de segurança dos itens. Com a ampliação do estoque físico é possível aumentar a capacidade produtiva da linha de produção em aproximadamente 13,60%.

Palavras-chave: Planejamento de Produção, Coleta de Dados, Simulação de Eventos

1. Introdução

As indústrias precisam, constantemente, identificar oportunidades de melhoria em seus processos para aumentar sua produtividade e estarem competitivas no mercado de trabalho. Para Gomes e Trabasso (2016) e Amit et al. (2012), é essencial dispor de tempo para conhecer seus processos e variações para identificação e minimização dos gargalos. É preciso habituar-se à criação e acompanhamento de indicadores em seus processos que as ajude identificar oportunidades de melhorias para suas linhas de produção, a fim de aumentar sua eficiência e reduzir os custos nos processos (AMIT et al., 2012; LIONG; HAMID; IBRAHIM, 2016).

Wezel, Dong e Gaalman(2006) afirmam que as pequenas e médias indústrias (PMI) têm grande ênfase na capacidade produtiva e pouca no acompanhamento desses indicadores, o que torna difícil o cumprimento do planejamento e que elas precisam equilibrar uma produção flexível com performance eficiente. Liong, Hamid e Ibrahim (2016) justificam que as PMIs não conhecem bem seus processos devido ao pouco uso da tecnologia por conta do custo e/ou falta de conhecimento desta, limitando-as encontrar oportunidades de melhoria.

Esse estudo de caso é realizado em um uma linha de produção de salgadinhos de milho, em uma indústria de médio porte localizada no estado de Alagoas, onde são observadas oscilações na linha de produção, geralmente devido à disponibilidade dos equipamentos: ora há excesso de produto a ser empacotado, ora equipamentos são parados por falta de produto. São problemas controversos, em sistemas de manufatura, que engenheiros e gerentes estão, continuamente, buscando métodos para eliminar (ZAHRAEE et al., 2014). A proposta é quantificar os gargalos e tempos de espera na linha de produção e sugerir mudanças (por exemplo: novo layout, número ideal de equipamentos na linha, número de funcionários, mudança de processo e/ou planejamento, automação) para que o fluxo de trabalho tenha menos interrupções, conseqüentemente, haja uma maior eficiência, um aumento de produtividade e maior capacidade competitividade (ABED, 2008; HECKER; HUSSEIN; BECKER, 2010; RANI; ISMAIL; RAHMAN, 2014; TEOH; ITO; PERUMAL, 2017).

Em busca do melhor aproveitamento dos recursos, será feito uso da simulação, por ser um método muito mais barato, flexível, e não intrusivo, não interferindo no funcionamento das linhas de produção, quando comparado a métodos que requerem mudanças físicas (PEKARČÍKOVÁ; TREBUŇA; MARKOVIČ, 2015). Em paralelo com o sistema real, a simulação é validada, causas e efeitos são identificados e entendidos, podendo as melhorias

serem testadas e, posteriormente, a depender das consequências, serem implementadas ao sistema (RANI; ISMAIL; RAHMAN, 2014).

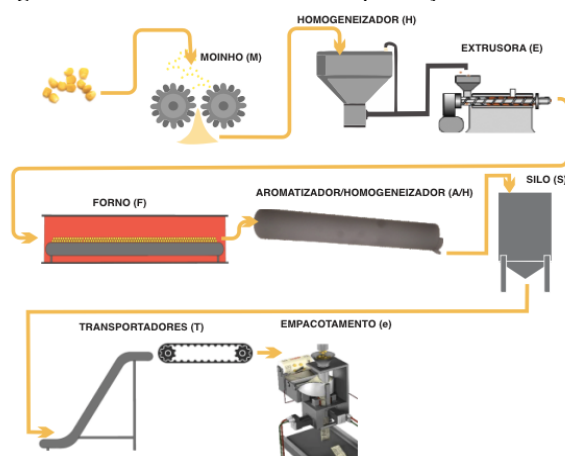
Após verificação e validação, simulações são realizadas com sugestões de mudanças no processo. Os cenários propostos são experimentados sem causar impacto no sistema real (HEREDIA; CEBALLOS, 2018). É importante enfatizar que a simulação não mostra resultado ótimo de forma direta (PEKARČÍKOVÁ; TREBUŇA; MARKOVIČ, 2015). Os impactos decorrentes de cada uma das propostas sugeridas são comparados e o tomador de decisão decide qual cenário é o ideal para aquele momento. Essa comparação, sem modificações reais nas plantas, é uma das vantagens mais significativas da simulação (CARSON II, 2005; SUHADAK; AMIT; ALI, 2015).

Esse trabalho é apresentado da seguinte forma: na Seção 2 apresenta-se a descrição do problema abordado. Na Seção 3 é apresentada a coleta de dados. Finalmente, são apresentadas as considerações finais na seção 4.

2. Descrição do problema

O processo produtivo, apresentado na figura 1, inicia com a moagem do milho degerminado a uma granulometria pré-estabelecida. O produto originado segue para homogeneizadores, responsáveis para fornecer farinha uniforme à etapa seguinte. Na etapa de extrusão, a matéria-prima sofre transformação através de um processo contínuo com alta temperatura e pressão, em conjunto com cisalhamento mecânico, por um curto período de tempo (CHEN et al., 1991).

Figura 1 – Processo Produtivo de produção de Snacks



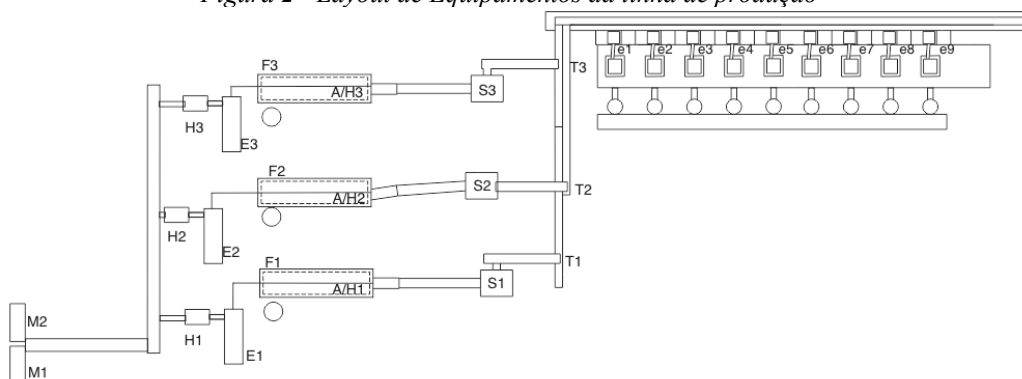
Fonte: O autor (2021)

O produto extrudado é transferido para um forno onde tem sua umidade diminuída a fim de lhe conferir uma textura crocante. Após secagem, aditivos responsáveis pelo sabor são pulverizados e o produto com

aroma é equalizado em um cilindro rotativo. Após aromatizado, são direcionados a silos, que funcionam como pulmão, até que sejam transportados por sistemas de esteiras até o sistema de empacotamento automático e subsequente processo de enfardamento e estocagem.

O *layout* dos principais equipamentos da linha de produção estudada é disposto na figura 2: 2 moinhos (M), 3 linhas de extrusão [homogeneizador (H), extrusora (E), forno secador (F), Aromatizador/Homogeneizador (A/H)], 3 silos (S), 3 sistemas transportadores (T), 9 máquinas de empacotamento (e).

Figura 2 - Layout de Equipamentos da linha de produção



Fonte: O autor (2021).

A linha de produção sob estudo é responsável pela produção de 34 itens, que podem ser caracterizados por sabor, material de embalagem, gramatura da embalagem primária, gramatura da embalagem secundária. O planejamento de produção é realizado diariamente seguindo uma política de fabricação para estoque de acordo com a quantidade de segurança de cada item, que é definida através do comportamento da demanda dos últimos 3 meses, a cada dia da semana e sazonalidade. O local de armazenamento de produtos acabados possui capacidade para, aproximadamente, 0,6 semana de vendas. O planejador utiliza a caracterização por sabor e tipo (gramatura e material de embalagem) para realização do cronograma de produção, juntamente com a compatibilidade das máquinas de empacotamento com cada tipo.

A classificação das famílias, na linha de produção estudada, é realizada em relação aos sabores, devido ao acréscimo em custo e tempos de processos de ajustes da linha, quando produtos de famílias distintas são processados na mesma linha (KOPANOS; PUIGJANER; GEORGIADIS, 2009).

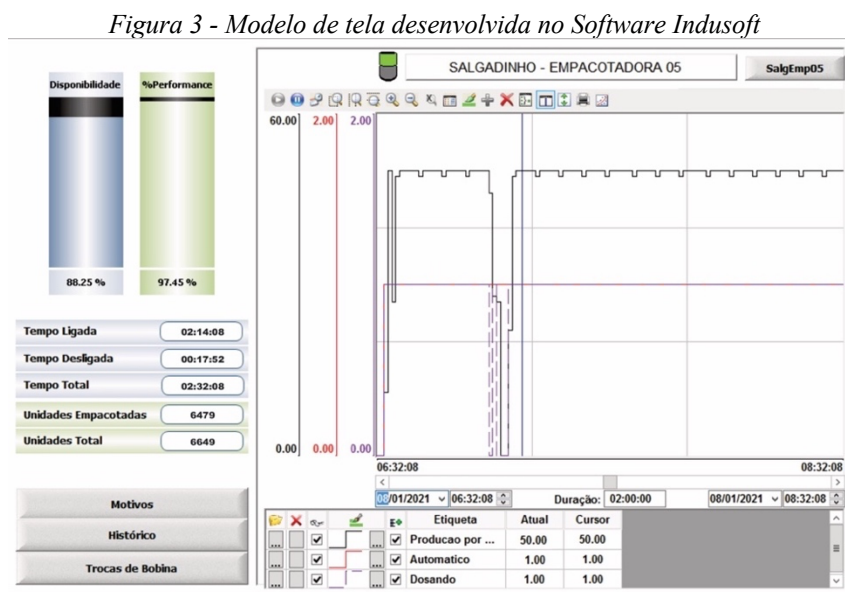
A limitação do almoxarifado de produtos acabados exige que itens de diferentes famílias sejam produzidos no mesmo dia e que esses mesmos itens entrem em produção no decorrer da mesma semana, logo, a necessidade de um novo planejamento de produção a cada dia, afetando negativamente o desempenho da linha.

3. Coleta de dados

A identificação dos dados de entrada e o processo de coleta são as etapas mais cruciais no processo de construção do modelo, devido à influência destes nos resultados obtidos e o tempo investido. Recepção de dados desnecessários é esforço perdido, ausência de dados vitais acarretará em atraso na simulação. É preciso encontrar uma correspondência com a realidade atual, logo, os dados devem ser livres de viés (DÍAZ; GUTIÉRREZ; HERNÁNDEZ, 2018; ROBERTSON; PERERA, 2002).

Foi desenvolvido um supervisor no Indusoft Web Studio 8.0 (IWS), poderoso *software* para aplicações SCADA e de fácil Interface Homem Máquina (IHM), para realização da coleta de dados necessários para a simulação (tempo de funcionamento, paradas, produção, produto produzido, produtos defeituosos, produtos bons). Extrusoras e máquinas de empacotamento são comandadas a partir de Controladores Lógico Programáveis (CLPs) programados pela própria empresa, o que confere uma vantagem para obtenção dos dados e envio ao supervisor, através de uma rede de comunicação *Modbus* RTU, protocolo bastante utilizado na indústria pela confiabilidade, velocidade e acessibilidade (ÁDÁMKÓ; JAKABÓCZKI; SZEMES, 2018).

Um modelo de tela desenvolvida no IWS é mostrado na figura 3.



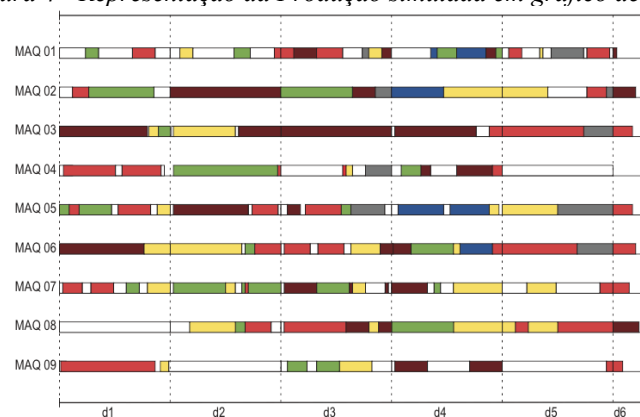
Fonte: O autor (2021)

Os índices disponibilidade e performance são calculados, respectivamente, por: razão entre o tempo de máquina ligada e o tempo em que estava programada para operar; quociente entre a quantidade de pacotes que foram dosados e número de embalagens total que passaram pela máquina (a diferença entre ambos são embalagens vazias que somam às perdas). Embalagens

que receberam produtos, mas estão fora do padrão de qualidade são a outra parte do desperdício. O supervisor escreve os dados coletados minuto a minuto em um banco de dados SQL (*Structured Query Language*), mantendo os registros de cada máquina da linha. Este banco é conectado a um *software* de BI (*Business Intelligence*), a fim de obter melhores análises que ajudem a tomar decisões e de onde são extraídos os dados para inserção no *software* de simulação.

A figura 4 apresenta o funcionamento das máquinas empacotadoras durante uma semana de produção: os retângulos brancos correspondem aos momentos que as máquinas estão paradas por falta de produto. No período d1, observa-se, na máquina 05, que por duas vezes ela inicia o empacotamento do produto representado pela cor verde e passa para a cor vermelha. Isso ocorre devido à quantidade de produto nos silos ser insuficiente para o abastecimento daquele sabor naquele momento, sendo a migração para outro produto uma alternativa para reduzir a ociosidade da máquina.

Figura 4 - Representação da Produção simulada em gráfico de Gantt



Fonte: O autor (2021)

3.1. Simulação

O modelo foi traduzido para o *software* ARENA, um dos pacotes de simulação mais utilizados no período para problemas de simulação discreta. Foi selecionado por possuir linguagem gráfica, o que reduz o tempo de programação, quando comparado às linguagens FORTRAN, C++, Visual Basic e apresentar bastante flexibilidade a mudanças, além de ser um sistema automatizado de coleta de estatísticas (GOMES; TRABASSO, 2016; SHANNON, 2002).

Dados de funcionamento das máquinas, coletados pelo supervisor, são inseridos no ARENA *Input Analyzer*, componente do *software* ARENA[®] responsável por identificar as distribuições que mais se adequam ao comportamento do sistema real para serem utilizadas na simulação do modelo (ABED, 2008; KAMARUDIN; RANI; HALIM, 2019; KRISHNAN et al., 2018). O resultado é

apresentado na tabela 1:

Tabela 1 - Distribuição de Probabilidade de acordo com ARENA Input Analyzer

Estação	Distribuição de probabilidade	Estação	Distribuição de probabilidade
Capacidade Recepção Máx.	15ton/dia	Empacotadora 05	6 + LOGN (2.31, 3.16)
Processo de Moagem	TRIA (0.58, 0.6, 0.65)	Emp. 05 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + EXPO (26)
Homogeneização	Constante	Emp. 05 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + EXPO (4.41)
Extrusão linha 01	TRIA (2.2, 2.4, 2.45)	Empacotadora 06	6 + LOGN (1.63, 1.84)
Extrusão linha 02	TRIA (2.15,2.25,2.40)	Emp. 06 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + GAMM (58.8, 0.466)
Extrusão linha 03	TRIA (2.41,2.52,2.58)	Emp. 06 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + WEIB (5.28, 1.21)
Empacotadora 01	2 + LOGN (1.31, 0.779)	Empacotadora 07	14 + LOGN (2.76, 3.59)
Emp. 01 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + 160*BETA (0.872, 2.67)	Emp. 07 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + WEIB (21.8, 0.563)
Emp. 01 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + EXPO (4.88)	Emp. 07 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + LOGN (6.31, 9.85)
Empacotadora 02	2 + LOGN (135, 1.09)	Empacotadora 08	16 + LOGN (2.12, 2.16)
Emp. 02 <i>Up Time Failure</i>	0.5 + 76*BETA (0.53, 0.957)	Emp. 08 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + GAMM (115, 0.616)
Emp. 02 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + LOGN (5.89, 9.64)	Emp. 08 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + WEIB (6.93, 1.23)
Empacotadora 03	2 + LOGN (1.9, 1.25)	Empacotadora 09	13 + LOGN (4.19, 14.4)
Emp. 03 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + 103 * BETA (0.5, 2.33)	Emp. 09 <i>Up Time Failure</i>	0.999 + 132 * BETA (0.519, 3.01)
Emp. 03 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + LOGN (2.98, 4.91)	Emp. 09 <i>Down Time Failure</i>	0.5 + WEIB (3.43, 0.965)

Fonte: O autor (2021)

O modelo é, então, traduzido para o *software* ARENA (figura 5), realizada uma verificação qualitativa, para garantia que as estações de trabalho e fluxo de materiais estejam de acordo com a realidade e, posteriormente, uma validação estatística. É importante estar claro que não existe validação absoluta. A partir das distribuições informadas na tabela 1 e *schedule* de cada estação, os valores de saída devem apresentar uma assertividade de, pelo menos, 90%. (CARSON II, 2005; CHUNG, 2004; HESHMAT; SHARIEF; SEBAIE, 2013).

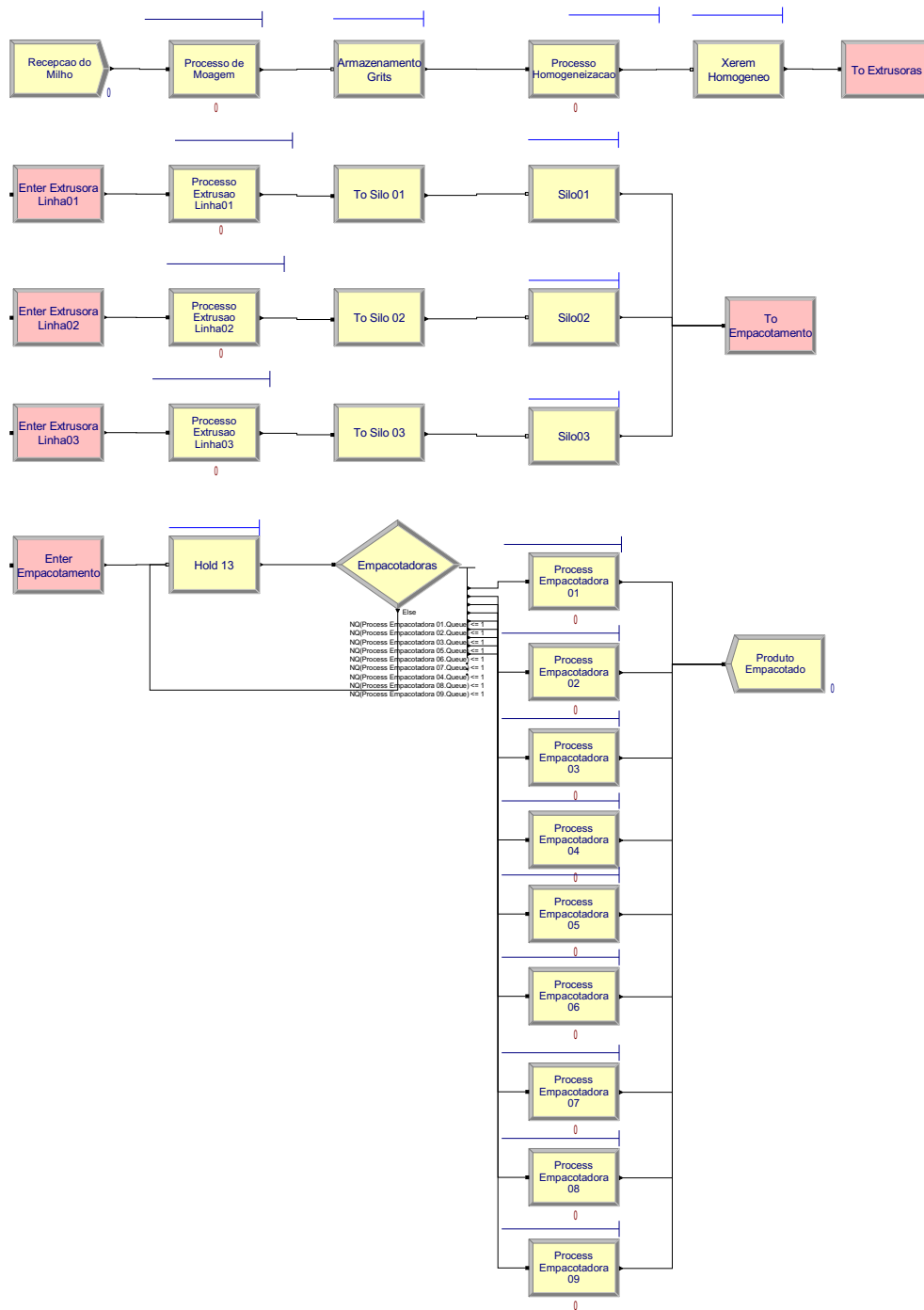
A tabela 2 apresenta comparativo entre o que fora produzido durante o período (real) e o resultado apresentado pelo software. O peso total produzido no modelo foi de 54.990kg, enquanto no sistema real foi de 57.020kg, o que valida o modelo com uma assertividade de 96,44%. As demais estações, por possuírem capacidade maior do que a necessária, produzem toda a entrada da matéria-prima.

Tabela 2 - Comparativo entre produção real e simulada no software ARENA

Estação	Real (Kg)	ARENA (Kg)	% Validação Estatística
Extrusão linha 01	19411	18460	95,10%
Extrusão linha 02	19872	19162	96,43%
Extrusão linha 03	17737	17368	97,92%
Empacotadora 01	10.767	10.200	94,73%
Empacotadora 02	11.987	11.010	91,85%
Empacotadora 03	9.732	9.440	97,00%
Empacotadora 04	7.976	7.660	96,04%
Empacotadora 05	4.906	4.880	99,47%
Empacotadora 06	4.085	4.210	103,06%
Empacotadora 07	2.057	2.160	105,01%
Empacotadora 08	3.014	3.010	99,87%
Empacotadora 09	2.496	2.420	96,96%

Fonte: O autor (2020)

Figura 5 – Modelo da linha de produção de Snacks no software ARENA



Fonte: O autor (2020)

Fora realizada simulação para identificação da capacidade da linha de empacotamento desconsiderando as paradas por falta de produto, e foi constatado que haveria um acréscimo de 13,60%, em peso, em produção, caso a capacidade de extrusão acompanhe esse incremento. O resultado é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Produção com aumento da capacidade do processo de extrusão

Estação	Modelo validado (Kg)	Experimento (Kg)
Empacotadora 01	10.731	12.020
Empacotadora 02	11.947	12.130
Empacotadora 03	9.699	10.830
Empacotadora 04	7.949	10.280
Empacotadora 05	4.890	5.280
Empacotadora 06	4.071	5.730
Empacotadora 07	2.050	2.650
Empacotadora 08	3.004	3.140
Empacotadora 09	2.488	2.500
TOTAL	56.829	64.560

Fonte: O autor (2020)

É sugerido ampliar o estoque de segurança a um espaço físico suficiente ao período de uma semana para cada um dos 34 itens produzidos. Desta forma, ao final da semana atual, seria possível realizar o planejamento da semana seguinte com sequenciamento de famílias, conhecendo quais máquinas e recursos humanos seriam necessários para a produção do complemento do estoque mínimo. O sequenciamento garantiria redução de paradas por trocas de sabores, devido ao baixo estoque nas estações dos silos, fornecendo: redução de perdas, pois *changeovers* geram desperdícios de material; menor necessidade de intervenção do operador; maior produtividade, pois seriam minimizadas paradas e tempo de limpeza. O investimento na ampliação do estoque de produtos acabados (estrutura civil e prateleiras) teria retorno entre 4 e 5 meses.

4. Coleta de dados

Foi possível constatar que o processo de simulação permitiu enxergar a possibilidade de melhorias na linha de produção de Snacks. Esta melhoria foi observada caso se consiga manter a regularidade do fornecimento do produto nas máquinas empacotadoras. Nesse sentido, ao assegurar uma maior continuidade do processo de fornecimento, um aumento de 13,60% do peso produzido poderá ser alcançado. Esse tipo de informação é extremamente relevante, uma vez que permite que se estime o impacto de ações de melhorias trazidas de um ambiente simulado, que não haviam sido estudadas, ou mesmo, identificadas, como ação viável. É importante enaltecer que também se pode identificar, por meio de simulação, quais as ações mais efetivas, na busca da meta que foi apresentada no ambiente simulado. Por exemplo, para a garantia da continuidade do fornecimento do produto às empacotadoras, não só um planejamento mais efetivo, do sequenciamento entre as famílias de produtos produzidos, mas também, um maior controle da degradação dos equipamentos, poderão repercutir positivamente para a melhoria da continuidade da produção.

REFERÊNCIAS

ABED, S. Y. **Improving Productivity in Food Processing Industries Using Simulation - A Case Study** Department of Industrial Engineering. International Conference on SYSTEMS. **Anais...**2008

ÁDÁMKÓ, É.; JAKABÓCZKI, G.; SZEMES, T. P. Proposal of a secure modbus RTU communication with Adi Shamir's secret sharing method. **International Journal of Electronics and Telecommunications**, v. 64, n. 2, p. 107–114, 2018.

AMIT, N. et al. **Using simulation to solve facility layout for food industry at XYZ Company**. IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research. **Anais...**2012

CARSON II, J. S. **Introduction to modeling and simulation**. Winter Simulation Conference. **Anais...**2005

CHEN, J. et al. Effects of Extrusion Conditions on Sensory Properties of Corn Meal Extrudates. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 1, p. 84–89, 1991.

CHUNG, C. A. **Simulation Modelling Handbook: A Practical Approach**. [s.l: s.n.].

DÍAZ, C. A.; GUTIÉRREZ, E. M. A. G.; HERNÁNDEZ, M. R. C. **Model to define the optimal production program in a food processor SME optimizing economic resources**. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. **Anais...**2018

GOMES, V. E. D. O.; TRABASSO, L. G. A Proposal Simulation Method towards Continuous Improvement in Discrete Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 270–275, 2016.

HECKER, F.; HUSSEIN, W.; BECKER, T. Analysis and optimization of a bakery production line using ARENA. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 09, n. December 2010, p. 208–216, 2010.

HEREDIA, D. A. V.; CEBALLOS, F. Simulation-Based Improvement Procedure for Small-Scale Shoe Manufacturing Companies. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 17, n. 1, p. 23–33, 2018.

HESHMAT, M.; SHARIEF, M. A. E.-; SEBAIE, M. G. E.-. Simulation Modeling of production lines: A case study of cement production line. **Journal of Engineering Sciences**, v. 41, p. 1045–1053, 2013.

KAMARUDIN, N. F.; RANI, R. M.; HALIM, F. A. **Improving the Food Manufacturing System by Using Simulation and DEA**. [s.l.] Springer Singapore, 2019.

KOPANOS, G. M.; PUIGJANER, L.; GEORGIADIS, M. C. Optimal production scheduling and lot-sizing in

Yoghurt production lines. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. C, p. 1153–1158, 2009.

KRISHNAN, S. et al. Bottleneck identification in a tyre manufacturing plant using simulation analysis and productivity improvement. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 11, p. 24720–24730, 2018.

LIONG, C. Y.; HAMID, S. H. A.; IBRAHIM, I. M. **Improving the performance of chili sauce manufacturing process using simulation approach**. AIP Conference Proceedings. **Anais...2016**

PEKARČÍKOVÁ, M.; TREBUŇA, P.; MARKOVIČ, J. SIMULATION AS PART OF INDUSTRIAL PRACTICE. **International Scientific Journal about Logistics**, v. 2, n. 2, p. 5–8, 2015.

RANI, R. M.; ISMAIL, W. R.; RAHMAN, A. A. **Determining the optimal operator allocation in SME’s food manufacturing company using computer simulation and data envelopment analysis**. AIP Conference Proceedings. **Anais...2014**

ROBERTSON, N.; PERERA, T. Automated data collection for simulation? **Simulation Practice and Theory**, v. 9, n. 6–8, p. 349–364, 2002.

SHANNON, R. E. **Introduction to the art and science of simulation**. Winter Simulation Conference. **Anais...2002**

SUHADAK, N. S. @; AMIT, N.; ALI, M. N. Facility Layout for SME Food Industry via Value Stream Mapping and Simulation. **Procedia Economics and Finance**, v. 31, n. 15, p. 797–802, 2015.

TEOH, Y. S.; ITO, T.; PERUMAL, P. Invisibility of impact from customer demand and relations between processes in Overall Equipment Effectiveness (OEE). **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing**, v. 11, n. 5, p. 1–11, 2017.

VAN WEZEL, W.; VAN DONK, D. P.; GAALMAN, G. The planning flexibility bottleneck in food processing industries. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 3, p. 287–300, 2006.

ZAHRAEE, S. M. et al. Simulation of Manufacturing Production Line Based on Arena. **Advanced Materials Research**, v. 933, p. 744–748, 2014.