

# O uso da simulação computacional para melhoria nos processos produtivos: uma aplicação da teoria de filas com o uso de simuladores

*The use of computational simulation for improvement in productive processes: an application of the queue theory with the use of simulators*

Maycon da Silva Gerônimo<sup>1</sup>  
 Adamy Cesario de Sousa Pereira<sup>2</sup>  
 Aureo Luan Gomes Mesquita<sup>3</sup>  
 Adailton Batista Santos II<sup>4</sup>  
 Ana Valeria Gomes Moreira<sup>5</sup>

## Resumo

A simulação computacional no âmbito dos processos produtivos vem sendo utilizada com maior frequência por oferecerem inúmeras vantagens, sendo uma delas a possibilidade de antever resultados de processos sem que haja uma intervenção física no ambiente produtivo. Este estudo foi feito a partir da necessidade da indústria PREMOLDE em melhorar os seus indicadores de produtividade. Para isso, a pesquisa se propôs simular e analisar os diferentes cenários do processo com o objetivo de demonstrar de que forma a simulação computacional contribui para a melhoria dos processos produtivos, mantendo o foco no setor de fabricação de armaduras, visando sugerir melhorias incrementais com o intuito de obter melhores resultados na produtividade. O método IDEF-SIM foi utilizado para elaborar o modelo conceitual do processo produtivo, com o objetivo de auxiliar o software Arena®. Conclui-se que foi possível demonstrar através da análise dos dados fornecidos pela simulação o alcance de melhoria na produtividade, com alteração do processo produtivo focada nos pontos demonstrados pelo software Arena® comprovando ainda que é possível obter melhorias nos tempos de transporte da matéria-prima, estocagem e tempo de ocupação de operador.

**Palavras-chave:** Simulação. Processos. Produtividade.

## Abstract

The computational simulation within the productive processes has been used more frequently because they offer many advantages, one being the possibility to anticipate results of processes without physical intervention in the productive environment. This study was based on the PREMOLDE industry's need to improve its productivity indicators. For this, the research proposed to simulate and analyze the different scenarios of the process with the objective of demonstrating how the computational simulation contributes to the improvement of the productive processes, keeping the focus in the sector of armature manufacturing, aiming at suggesting incremental improvements with the to achieve better results in productivity. The IDEF-SIM method was used to elaborate the conceptual model of the productive process, in order to support Arena® software. It is concluded that it was possible to demonstrate through the analysis of the data provided by the simulation, that it is possible to improve productivity, with a change in the production process focused on the points demonstrated by the software Arena® proving that it is possible to obtain improvements in the transportation times of the raw material, stocking and time of occupation of the operator.

**Keywords:** Simulation. Process. Productivity.

<sup>1</sup> Universidade Ceuma  
 Graduado em Engenharia de Produção, Pós-graduando  
 em Engenharia de Qualidade Seis Sigma, MBA em  
 Gerenciamento de Projetos e Pesquisador.  
 maycon.geronimo@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Ceuma  
 Graduado em Engenharia de Produção e Pesquisador

<sup>3</sup> Universidade Ceuma  
 Graduado em Engenharia de Produção e Pesquisador

<sup>4</sup> Universidade Ceuma  
 Graduado em Engenharia de Produção e Pesquisador.  
 secondd2@hotmail.com

<sup>5</sup> Universidade Ceuma  
 Graduada em Engenharia de Produção e Pesquisadora.  
 valeria.anag@outlook.com

## 1 Introdução

Não é de hoje, que no mercado empresarial tem predominado a competitividade e muitas exigências visando o alcance do sucesso. Para isto, as organizações têm-se submetido a um vasto ambiente de possibilidades onde existem apenas oportunidades de aperfeiçoamento de ganhos e redução de perdas, contudo, para que a empresa seja realmente competitiva, é necessário que sejam elaboradas e executadas revisões constantes em todos os seus setores para análise de desempenho e de resultados, sendo considerados passo a passo de cada tarefa visando-lhes impactos no final do processo.

Belfiore e Fávero (2013) afirmam que a demanda por ferramentas onde se possa fazer algum tipo de previsibilidade no âmbito dos processos, tem se expandido nos últimos anos, pois, as consequências das alterações no processo produtivo revelam-se em altos riscos, altos custos e incertezas, que podem ocasionar uma certa resistência à mudança de cenário; com esta premissa, surgiu a necessidade de se utilizarem métodos mais eficazes, que tenham um tempo de resposta mínimo e uma precisão capaz de influenciar nas tomadas de decisões.

Nesse contexto Gavira (2003) reitera que a simulação computacional contribui de forma positiva para a transformação dos conceitos e conhecimentos em equações matemáticas, ou seja; a coleta de dados de processos reais para serem utilizados em modelos matemáticos. A confiabilidade e a qualidade desses resultados estão diretamente ligadas ao tipo de modelo utilizado, desta mesma forma o grau de complexidade do processo também influenciará no modelo a ser utilizado pois quanto maior o número de variáveis maior será a precisão dos resultados.

De acordo com Silva, Alves e Costa (2011) outra ferramenta, que tem contribuído para melhoria de processos, é o uso da modelagem com-

putacional através de *softwares* de simulação, que são programas de computador com a finalidade de simular processos reais em ambiente virtual. Com essa ferramenta é possível serem feitas avaliações e alterações simultâneas e minuciosas de todo o processo, com a vantagem dos custos e da predição de resultados em relação ao processo real que, na maioria dos casos, poderia ser inviável. Isto permite que a organização saiba dos resultados mesmo antes da execução dos processos.

Desta forma, busca-se aproveitar ao máximo o uso dessas ferramentas para o auxílio na tomada de decisão, observando-se que uma das premissas para obtenção de resultados satisfatórios é o conhecimento dos processos envolvidos, e que, a partir destes, será feita a escolha do *software* mais adequado para o processo.

Considerando-se a relevância do tema abordado por esta pesquisa acadêmica, o presente artigo tem como problema de pesquisa: Como a simulação computacional contribui para a melhoria dos processos produtivos? Tal questionamento há de requerer tanto uma revisão bibliográfica quanto a utilização de mecanismos de observação ou coleta de informações capazes de permitir que a temática investigada possa atingir o objetivo geral desta pesquisa, que é: Demonstrar de que forma a simulação computacional contribui para a melhoria dos processos produtivos.

## 2 Referencial teórico

Para que o presente artigo atinja seus propósitos, é necessário que se faça uma contextualização acerca das teorias e artigos existentes cujo proposito será o de dar consistência técnica-científica a este trabalho. Neste sentido, é requerido uma abordagem aos seguintes temas: Ferramentas de apoio à modelagem matemática e a simulação computacional; O Método IDEF-SIM; Os

Processos Produtivos nas Organizações; O Uso do Software Arena® para Simulação que, entende-se, ser o caminho para a análise do problema suscitado neste artigo.

## 2.1 Ferramentas de apoio à modelagem matemática e simulação computacional

### 2.1.1 Teoria das filas

As filas estão presentes nos diversos setores da vida, estas não são exclusivas só do homem: estão presentes também dentro de processos mecânicos, processos lógicos, dentre outros. Taha (2008, p. 247) define filas como “um estudo que trata da quantificação do fenômeno da espera em filas usando medidas representativas de desempenho como o comprimento médio de uma fila, o tempo médio de espera em fila e a média de utilização da instalação”. Com fulcro nessa situação,



Figura 1: Elementos principais de um sistema de fila de espera

Fonte: Shamblin e Stevens (1979, p. 206).

Shamblin e Stevens (1979, p. 206) demonstram pela Figura 1 os elementos principais de um sistema de filas de espera.

A Figura 1 demonstra o funcionamento de um sistema de filas em sua maioria, onde o cliente na entrada espera em linha para ser atendido ou, se o sistema estiver vazio, ele poderá ser atendido imediatamente. Concluído o atendimento, o cliente deixará o sistema. A classificação facilita a identificação do melhor modelo matemático a ser usado. Conforme a figura 2, Arenales *et al.* (2007 como citado em Milani, 2016, p. 4) demonstram a classificação do sistema de filas.

Os autores descrevem na figura 2 quatro tipos de classificação para o sistema de filas, a saber, fila única em um servidor; fila única com múltiplos servidores em paralelo; múltiplas filas e múltiplos servidores em paralelo; fila única e múltiplos servidores em série.

### 2.1.2 Método simplex

Belfiore e Fávero (2013, p.81) esclarecem que o método simplex é muito utilizado nos dias atuais para obtenção de resultados satisfatórios em linhas de produção. Com isso, esses autores definem esse método como “um procedimento algébrico iterativo que parte de uma solução

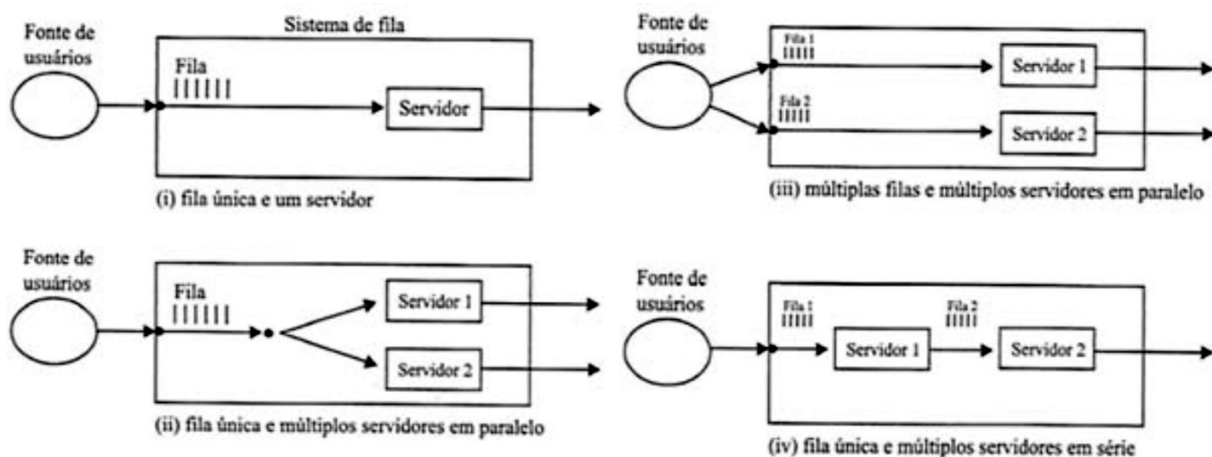


Figura 2: Classificação do Sistema de filas

Fonte: Adaptado Milani (2016, p. 5).

básica factível inicial e busca, a cada interação, uma nova solução básica factível com melhor valor na função objetivo, até que o valor ótimo seja atingido”.

Shamblin e Stevens (1979, p. 206) afirmam que o método simplex deve ser iniciado com uma solução que atenda a todas as restrições sucessivamente e, dessa forma, obtenham-se soluções nas intersecções, melhorando os valores na função-objetivo. Por outro lado, Barbosa e Zanardini (2014, p. 43) referem uma sistemática para determinar as diretrizes do procedimento objetivo: definir qual o sistema de equações devemos usar na resolução; indicar o próximo sistema resolutivo que devemos utilizar para encontrar uma solução melhor; identificar uma solução ótima quando encontrarmos. Na Figura 3, Belfiore e Fávero (2013, p. 82) descrevem o método simplex por meio de fluxograma.



**Figura 3: Fluxograma da descrição geral do algoritmo Simplex.**

Fonte: Belfiore e Fávero (2013, p.82)

Na Figura 3 os autores demonstram o fluxograma do algoritmo Simplex, dividindo o método

em quatro etapas: O Início, onde o problema deve estar na forma padrão; encontrar uma solução básica factível (SBF) atribuindo valores iguais a zero às variáveis de decisão; teste de otimalidade, uma SBF é ótima se não houver soluções básicas factíveis adjacentes melhores; iteração, determinar uma SBF melhor.

### 2.1.3 Simulação de Monte Carlo

Taha (2008, p. 272) define o modelo de Monte Carlo como um esquema de modelagem que estima parâmetros estocásticos ou determinísticos como base em uma amostragem aleatória. Já Winston (2003, p.1161) cita em sua obra que esse método nada mais é do que um procedimento para gerar os tempos dos eventos que são determinados de forma direta ou indireta pelo tempo de serviço a partir de uma distribuição de probabilidade.

No entanto, Shamblin e Stevens (1979, p. 175) afirmam que a velocidade das operações no computador é importante para o uso dos modelos de simulação de Monte Carlo, pois, sem esta, boa parte dos modelos não poderiam ser praticados. No entendimento de Mooney (1997, p. 4), existe uma estratégia mais simples para se elaborar um modelo de Monte Carlo: basta criar uma “palavra” artificial, ou pseudopopulação, que se assemelha à palavra real em todos os aspectos relevantes. O autor demonstra no Quadro 1 cada etapa de seu procedimento.

No Quadro 1, o autor demonstra claramente que a simulação Monte Carlo é muito simples no conceito, e que ela flui naturalmente a partir da concepção de que é uma distribuição de amostragem; em cima das etapas ele faz uma análise referindo que os aspectos complexos da técnica de simulação de Monte Carlo são: (a) escrever o código de computador para simular as condições de dados desejadas, (b) interpretar a distribuição de amostragem estimada.

ETAPAS	PROCEDIMENTOS
1	especificar a pseudo-população em termos simbólicos de tal forma que ela possa ser usada para gerar amostras. Isso geralmente significa desenvolver um algoritmo de computador para gerar dados de maneira específica.
2	amostra da pseudo-população (uma pseudo-amostra) de formas que refletem a situação estatística de interesse, por exemplo, com a mesma estratégia de amostragem, tamanho de sample, e assim por diante.
3	calcular $\hat{\theta}$ na pseudo-amostra e armazená-la em um vetor, $\hat{\theta}$ .
4	repetir os passos 2 e 3 vezes $t$ , onde $t$ é o número de ensaios.
5	construa uma distribuição de frequência relativa dos valores de $\hat{\theta}$ resultantes, que é a estimativa de monte carlo da distribuição amostral de $\hat{\theta}$ sob as condições especificadas pela pseudo-população e os procedimentos de amostragem.

**Quadro 1: O procedimento básico de Monte Carlo**

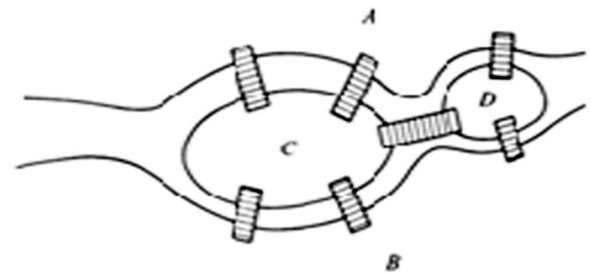
Fonte: Adaptado de Mooney (1997, p. 4).

### 2.1.4 Teoria dos grafos

Berge (2001, p. 1) admite que todas as teorias matemáticas modernas, assim como a teoria dos grafos também têm a sua própria notação de taquigrafia que permite considerável economia de pensamento, tornando mais eficaz e mais fácil de manipular. O grafo é definido por Feofiloff, Kohayakawa e Wakabayashi (2011 p.8) como “um par  $(V, A)$  em que  $V$  é um conjunto arbitrário e  $A$  é um subconjunto de  $V(2)$ . Os elementos de  $V$  são chamados vértices e os de  $A$  são chamados arestas”. Já Rodriguez, Martin e Couso (2014, p. 2) afirmam que os grafos podem ser definidos intuitivamente como um conjunto de pontos, chamados de vértices, junto com uma coleção de linhas, chamadas de arestas, cada um si liga ou a um par de pontos ou a si mesmo.

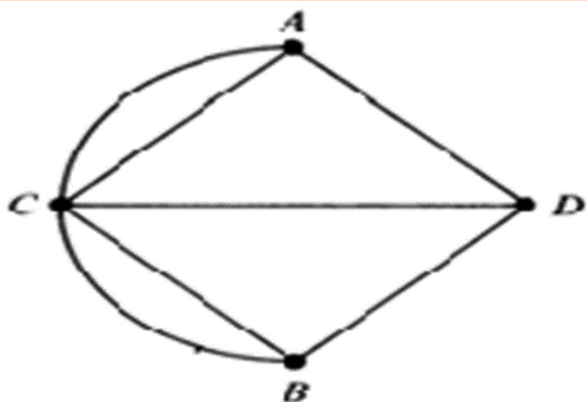
Deo (1974, p.3) comenta que a teoria dos grafos tem uma gama de aplicações muito ampla nas mais diversas áreas, devido à sua simplicidade, principalmente na Engenharia, nas Ciências físicas, sociológicas e biológicas, na Linguística, e em muitas outras áreas, pode ser usada para representar situações físicas envolvendo objetos discretos e a relação entre eles. Rodriguez *et al.*

(2014, p. 2) também relatam que a teoria dos grafos encontra muitas aplicações nos mais diversos campos como a Química, Economia, o Desenho Industrial, a Eletrônica e Informática. Deo (1974, p. 4) utiliza o exemplo de Leonhard Euler (este em 1736, resolveu a melhor e mais conhecida aplicação da teoria dos grafos, a das pontes de Königsberg), demonstrado na figura 4.

**Figura 4: Problemas das Pontes de Königsberg**

Fonte: Adaptado de Deo (1974, p. 4).

A Figura 4 representa o desenho real das sete pontes de Königsberg. A propósito, existia uma lenda popular que afirmava que não seria possível atravessar as sete pontes sem repetir nenhuma, então Leonhard Euler analisou as sete pontes e criou um grafo que representava os caminhos das pontes, demonstrado na Figura 5.



**Figura 5: Grafos da ponte**  
 Fonte: Adaptado de Deo (1974, p.4).

Já na figura 5, Leonhard Euler conseguiu demonstrar essa possibilidade criando um grafo da ponte, onde cada ponto, no final das linhas, representaria possíveis lugares de chegada; e cada linha, os possíveis caminhos a serem percorridos nas pontes, chegando a conclusão de que não era possível atravessar todas as pontes sem repetir nenhuma.

## 2.2 O método IDEF-SIM

Pinho, Leal, Montevechi e Costa (2009) afirma que a partir do instante em que um analista desenvolve o problema para si, o conceito ainda se mantém abstrato, deste modo, existe a necessidade de usar um método de representação para que as ideias possam se alinhar, permitindo que outras pessoas possam compreender de forma mais coerente possível o que está sendo delinea-

do e para torna-lo ainda o mais concreto possível da realidade. Desta forma, que Leal, Almeida e Montevechi (2008), surgiram com a técnica IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods – Simulation*), método no qual seu foco principal é a simulação de sistemas, entretanto, esta é exclusivamente disposta a ser utilizada em projetos de melhoria de modo geral. A técnica IDEF-SIM, também tem como meta principal dispor de suporte exclusivo para a modelagem conceitual em projetos de simulação. O Quadro 2 demonstra de forma complexa os itens e simbologias utilizados no IDEF-SIM, assim como as técnicas primárias que foram adaptadas as necessidades da modelagem conceitual de projetos de simulação.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem	
Entidade	○	IDEF3	
Funções	□	IDEF0	
Fluxo da entidade	→	IDEF0 e IDEF3	
Recursos	□ ↑	IDEF0	
Controles	↓ □	IDEF0	
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	⊗	Regra 'E'	IDEF3
	⊕	Regra 'OU'	
	⊙	Regra 'E/OU'	
Movimentação	⇒	Fluxograma	
Informação explicativa	- - - - ->	IDEF0 e IDEF3	
Fluxo de entrada no sistema modelado	≡>	-	
Ponto final do sistema	●	-	
Conexão com outra figura	△	-	

**Quadro 2: Elementos e simbologia do IDEF-SIM**  
 Fonte: Adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008).

## 2.3 Os processos produtivos nas organizações

De acordo com Slack, Chambers & Johnston (2009) um sistema é um conjunto de dois ou mais elementos inter-relacionados, com isso, toda organização se torna um sistema destinado a alcançar os objetivos de acordo com os planos, é basicamente baseada na entrada (*input*), processamento e saída (*output*) para transformar recursos em produtos e/ou serviços. O enfoque sistêmico é aplicado para solução de problemas, é o modo de pensar em relação a um sistema, é observar um problema partindo de um todo, e não partindo de partes para chegar a um todo, assim, aumentando a produção, diminuindo os custos e melhorando a qualidade.

As organizações são sistemas de recursos que buscam se alinhar a objetivos. Esses objetivos se dispõem em uma cadeia de causas e efeitos: o objetivo principal é disponibilizar produtos e serviços; o objetivo mais elevado é ter competitividade sustentável. A execução dos recursos e o grau de realização dos objetivos são as ações básicas do desempenho de qualquer organização. Eficiência e eficácia são as palavras predominantes para denominar duas medidas de desempenho, é eficaz quando realiza seus objetivos; é eficiente quando utiliza corretamente seus recursos. (Maximiano 2015, p. 92).

Para obter vantagens operacionais e maior produtividade, uma organização precisa de uma boa estratégia de produção. O processo de estratégia de produção deve ter como o objetivo a tomada de decisões e ações estratégicas dentro do processo produtivo, de modo que o conjunto de decisões tomadas seja coerente e maximize a produção atendendo os objetivos estratégicos. Para elaborar o plano estratégico cumprem definir-se em quais objetivos de desempenho devem-se buscar melhorias, acompanhar o nível de desempenho da concorrência, comparar o seu nível com

o do concorrente e analisar para melhorar, e baseado na comparação é gerado um padrão para a tomada de decisões sobre os recursos nas principais áreas de decisão estratégica da produção. (Ritzman & Krajewski 2004).

No interior de qualquer organização, o sistema de processos produtivos, deve estar presente, para que que possam empregar e transformar recursos, para fornecer bens e serviços aos clientes ou público-alvo. Neste fornecimento de produtos, insumos são transformados através de atividades de pessoas e do uso de maquinário, como exemplo: produção de pães e automóveis. Durante a prestação de serviço, os próprios clientes podem ser processados e transformados, conforme for o ramo da empresa, como exemplo disto temos: pacientes que são tratados em hospitais ou alunos que obtém educação em determinadas escolas. Portanto, os principais modelos de processos produtivos são divididos em três categorias: produção em massa, produção por processo contínuo e produção unitária e/ou em pequenos lotes. (Maximiano, 2015, p. 7).

## 2.4 O uso do software Arena® para simulação

O *software* Arena®, e a linguagem de simulação de sistemas introduzida nele (Siman V), fazem parte da classe das linguagens ou ambientes de modelagem e simulação de finalidade geral, explicando de outra maneira, pode-se dizer que os sistemas a serem modelados podem pertencer a qualquer uma das áreas de aplicações, tem-se como exemplo estas áreas: manufatura, serviços, sistemas de transportes, logística, redes de computadores, entre outros, como isso se é capaz de observar a versatilidade do uso de tal ferramenta de simulação, e o quanto é interessante aderir ao uso desta. (Freitas, 2001, p. 85).

O *software* Arena® se caracteriza pela simulação lógica de modelagem que se baseia em mó-



dulos de fluxograma e de informações, designados de templates. Os módulos de fluxograma demonstram a dinâmica da amostra, mais precisamente demonstrando por meio de interconexões em um diagrama de bloco, apresentam como as entidades farão os percursos entre fluxos, percorrendo por todos os itens estáticos e regras estabelecidas, desde o seu início até a saída do modelo. O manuseio dos dados de entrada, no fluxograma, pode ser feito por meio da escolha do módulo na área da planilha ou na abertura de uma janela exclusiva onde irão ser configuradas as ações. Nos módulos de dados, através do espaço na planilha, são disponibilizadas as especificações aos elementos que fazem parte do processo, entre elas: recursos, cronogramas, entidades, filas, variáveis e grupos. Toda via, embora essas características possam influenciar no desempenho do modelo, as suas ações não são estruturadas e vistas diretamente no fluxo. Essa interface relacional de fluxos e dados permite ao modelo computacional ser moldado apenas com a utilização dos comandos lógicos cedidos no próprio programa. (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2004).

O Arena® contém muitos recursos interessantes para a modelagem de sistemas, animação, análise estatística e análise de resultados, e também, e seu modo de executar essas ferramentas é por meio de processos para a execução da simulação, todos esses instrumentos estão contidos em um ambiente gráfico integrado de simulação. Pode-se descrever esse processo de simulação como uma situação os elementos estáticos formam um ambiente bem claro, com suas propriedades e regras definidas, assim comunicando-se com elementos dinâmicos, os quais iniciam-se na parte interna desse ambiente. (Freitas Filho, 2001).

Estão presentes no Arena® blocos que são usados na descrição de uma aplicação real. Tais blocos têm como função comandar uma linguagem de programação como exemplo, pode-se

citar os respectivos programas: Fortran, Cobol, Visual Basic, Delphy, entre outros. Estes tiveram como base do seu projeto a simulação, logo, tornam mais fácil a tarefa de programar. Como observou-se o Arena® aceita a construção de modelos de simulação, além disso possui ferramentas bem úteis, como: o analisador de dados de entrada (input analyzer), que dá ao programador a capacidade de examinar dados reais da funcionalidade do processo, e optar pela melhor distribuição estatística que se emprega a eles, e o analisador de resultados (output analyzer) que permite analisar informações obtidas ao decorrer da simulação (Prado, 2003, p. 26).

Segundo Silva (2011) assim como a grade parte dos softwares de simulação, o Arena® é capaz de idealizar o sistema que posteriormente será modelado, pode-se dizer que é possível comparar este a um composto de um conjunto de estações de trabalho que oferece seus serviços aos fregueses. Pode-se observar a versatilidade deste software ao saber que este tem sido usado para fazer a simulação os mais diferentes tipos de ambientes, indo desde a linha de produção até um problema que é vivenciado por todos, como o tráfego nas ruas de uma cidade, é empregado também em vários ambientes logísticos, como supermercados, aeroportos entre outros.

### 3 Metodologia

O presente artigo se trata de um estudo de caso com caráter quantitativo e descritivo, visando descrever os processos de uma empresa de fabricação de estruturas em concreto e demonstrar como é possível obter melhorias com o uso da simulação. Com isso, Pradanov e Freitas (2013, p. 127), reiteram que este tipo de pesquisa requer o uso de recursos e técnicas de estatística, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados



pelo pesquisador. A pesquisa faz uma análise das ferramentas de simulação e dados estatísticos utilizando os *softwares* Arena®, o *Input Analyzer*® e o método IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods–Simulation*). A classificação da pesquisa foi feita de acordo com Vergara (1998, p.45), definindo-se a mesma quanto aos fins, como pesquisa metodológica juntamente com a pesquisa aplicada; e quanto aos meios, como estudo de caso.

A escolha do estudo ocorreu devido a uma necessidade de aplicação de melhorias em meio ao processo produtivo da empresa PREMOLDE, que, num cenário, atual apresenta problemas como a baixa produtividade, alta ociosidade, mau uso da matéria-prima, dentre outros. O instrumento utilizado para a coleta de dados foi o formulário de acompanhamento da produção, as técnicas utilizadas foram a observação e a entrevista visto que Kauark, Manhães, e Medeiros (2010, p. 75) afirmam que os instrumento de coleta de dados e as técnicas de pesquisa podem ser diferenciadas e variam, a depender do tipo de pesquisa, dos sujeitos da pesquisa e da intenção da investigação.

### 3.1 A Indústria PREMOLDE

A empresa estudada é uma indústria com mais de trinta anos no mercado, referência no Nordeste no segmento de fabricação de estruturas

de concreto. A empresa dispõe de diversos setores juntamente com a fábrica localizados no mesmo local. No setor de produção, a maior parte de seus funcionários exerce cargos de liderança, possuindo apenas o conhecimento empírico 99% da mão de obra são artesanais, tendo em vista que, há décadas, os métodos utilizados no processo produtivo são os mesmos.

## 4 Simulação e análise de dados do ambiente real da premolde

Pretende-se com esta pesquisa, demonstrar de que forma a simulação computacional pode contribuir para a melhoria dos processos produtivos no setor de ferragem, responsável pela confecção das armaduras que compõe as estruturas de concreto. Na sua variedade de produtos, destacam-se as estruturas de postes DT (duplo T) com a maior saída nas vendas focada no poste DT 300/11; a matéria-prima-chave são os vergalhões de aço, que serão o objeto de estudo. O modelo conceitual das etapas da produção, a serem simuladas, é descrito na figura 6.

Esta etapa faz referência à situação real da empresa. A elaboração da simulação se deu com

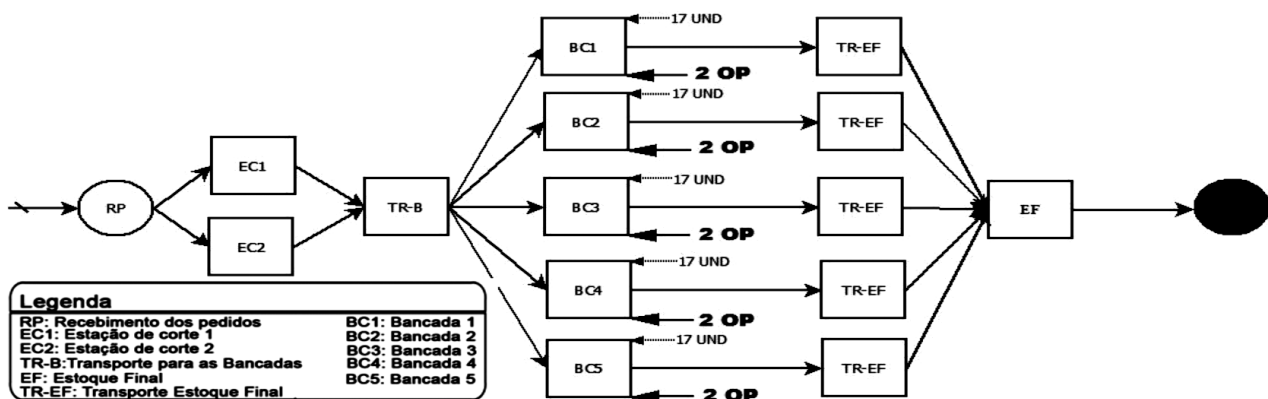


Figura 6: Processo produtivo de armaduras baseado na técnica IDEF-SIM

Fonte: O autor.

apenas uma entidade do *software* Arena®. Toda operação é feita por 10 armadores que executam as etapas da produção, respeitando a sequência: recebimento do pedido, corte dos vergalhões na policorte, carregamento até a bancada, marcação dos vergalhões, seleção dos estribos; ponteamento das armaduras e transporte para o estoque e todo o processo de fabricação é feito de forma artesanal. O layout da linha de produção construída no *software* Arena® e demonstrado na figura 7.

Conforme a figura 7, o setor de ferragem não dispõe de um estoque de vergalhões para uso na produção nos dias posteriores, visto que os vergalhões, cortados nas policortes, são para o uso na produção do mesmo dia; outro fator a ser levado em consideração é o uso de apenas 10 armadores, atuando em todo o processo produtivo. Nas etapas foram utilizados todos os dados coletados durante 45 dias, referentes a cada etapa do processo de produtivo de armaduras e utilizados no *software* de simulação, o Arena®.

O *software* *Input Analyzer*® foi utilizado para tratamento dos dados coletados, o uso desta ferramenta no processo de simulação foi de suma im-

portância pois existiu a necessidade de considerar a variação de tempo de cada etapa do processo produtivo, lembrando que o *software* ARENA® considera essa variação em suas simulações e possui esta ferramenta para auxiliar na determinação das curvas de comportamento. Foram feitas 2 simulações e todas as informações dos relatórios fornecidos no término de cada simulação constam no quadro 3.

## 5 Resultados e discussões

Nesta etapa apresenta-se o conjunto de alterações feitas no ambiente da empresa PREMOLDE, embasadas nos dados fornecidos pelos relatórios da simulação do processo real. Com base nessa si-

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO REAL			
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
TEMPO NA POLICORTE/BANCADA (MINUTO)	51.11	53.13	54.62
TEMPO DE TRANSPORTE (MINUTO)	6.3	7.5	8
TAMANHO DA FILA NAS BANCADAS (UND)	4.63	4.83	4.90
TAMANHO DA FILA NA POLICORTE (UND)	0.25	0.27	0.29
TAXA DE OCUPAÇÃO DA POLICORTE	16,22%	17,21%	17,96%
TAXA DE OCUPAÇÃO DAS BANCADAS	58,72%	60,38%	62,13%
MÉDIA DE FABRICAÇÃO HOMEM/ARMADURA (UND)	8,5		
MÉDIA DE ARMADURAS PRODUZIDAS (UND/DIA)	85		
QUANTIDADE DE VERGALHÕES CORTADOS (UND/DIA)	510		
MÉDIA DA SUCATA PRODUZIDA (Kg/DIA)	209,75		
QUANTIDADE DE COLABORADORES (UND)	10		
QUANTIDADE DE HORAS TRABALHADAS/DIA	8,5		
MÉDIA DE ESTOQUE VERGALHÕES (UND/DIA)	0		

Quadro 3: Dados fornecidos pelos relatórios do software Arena®  
Fonte: Adaptado do software Arena®.



Figura 7: Processo produtivo de armaduras DT 300/11 no software Arena®  
Fonte: O autor.

tuação foram propostas três melhorias, que visam impactar diretamente na produtividade e na qualidade do trabalho. Essas alterações juntamente com seus objetivos são demonstradas no quadro 4.

Nota-se, com fulcro no quadro 4, que a primeira alteração foi a mudança do *layout* de produção com a adição de um estoque de vergalhões; a segunda foi a implantação de uma ponte rolante para movimentação dos vergalhões; a terceira, a aquisição de uma máquina de corte e dobra para a remoção das duas polí-cortes, com a adição de dois operadores nesta. Na simulação do processo com as alterações, fez-se necessário o uso dos dados da máquina de corte e dobra, e estes foram fornecidos pelos fabricantes. Na figura 8 estão dispostos os dados da máquina de corte e dobra.

Conforme a figura 8, a máquina de corte e dobra utilizada foi uma Prima 12HS da marca Schnellbrasil (n.d.), esta

possui as especificações necessárias para o preparo da matéria-prima utilizada na fabricação das armaduras, como as bitolas do aço que serão utilizadas, a velocidade de corte dos vergalhões e a precisão milimétrica no tamanho dos vergalhões. Na figura 9 são elencados os dados técnicos da ponte rolante.

Conforme a figura 9, os dados da ponte rolante fornecidos pelo fabricante serão utilizados

### Dados técnicos

Capacidade de carga	até 12,5 t
Vão centro a centro	até 30 m
Velocidade de translação da ponte rolante	até 40 m/min
Velocidade de translação do carrinho	até 30 m/min
Velocidade de elevação	até 12,5 m/min

Figura 9: Dados da Ponte Rolante

Fonte: Demag. (n.d.)

ALTERAÇÕES NO PROCESSO PRODUTIVO	
QUAIS FORAM AS ALTERAÇÕES?	OBJETIVOS DAS ALTERAÇÕES
AQUISIÇÃO MÁQUINA DE CORTE E DOBRA	REDUÇÃO DA SUCATA, GERAÇÃO DE ESTOQUE DE VERGALHÕES
AQUISIÇÃO PONTE ROLANTE	REDUÇÃO DO ESFORÇO FÍSICO E GANHO NO TEMPO DE TRANSPORTE
ALTERAÇÃO LAYOUT DO SETOR	CRIAÇÃO DE UM ESTOQUE DE VERGALHÕES ENTRE AS BANCADAS E A MÁQUINA DE CORTE E DOBRA

Quadro 4: Alterações no processo produtivo

Fonte: Os autores.

		PRIMA 12HS		
1º 	TRABALHA COM 1 FIO DE Ø TRABAJA CON 1 HILO DE Ø	4,2 a 12,7 mm		
2º 	TRABALHA COM 2 FIOS DE Ø TRABAJA CON 2 HILOS DE Ø	4,2 a 10 mm		
	VELOCIDADE DE AVANÇO VELOCIDAD DE AVANZO	130 m/min		

Figura 8: Dados da máquina de corte e dobra Prima 12HS

Fonte: Schnellbrasil. (n.d.)

no processo de simulação. O *software* Arena® demonstra o novo layout com a máquina de corte e dobra no início do processo, posteriormente a implantação de um novo estoque de vergalhões, em seguida as bancadas de produção e, na última etapa, o estoque de armaduras, todas interligadas por meio de uma ponte rolante. Conforme demonstrado na figura 10.

Tendo em vista a figura 10, a aplicação das propostas de melhorias feitas pelos pesquisadores, a disposição do estoque de vergalhões entre a máquina de corte e dobra e as bancadas de trabalho, centralização dos operadores em suas bancadas de trabalho e a adição de dois operadores na máqui-

na de corte e dobra. Com base nos dados, foram feitas 2 simulações com melhorias no *software* Arena®, e todas as informações dos relatórios fornecidos no termino de cada simulação foram comparadas com a simulação do processo real, e seus resultados demonstrados no quadro 5.

Apoiados nas informações fornecidas no quadro 5, colhem-se os dados obtidos em dois ambientes diferentes. Um é a simulação de situação real do setor; o outro é a simulação do setor com as melhorias propostas, visto que uma terceira coluna, denominada “ganhos%”, é composta por uma escala de comparação entre ambas simulações, fornecendo informações em percentuais que são precisas

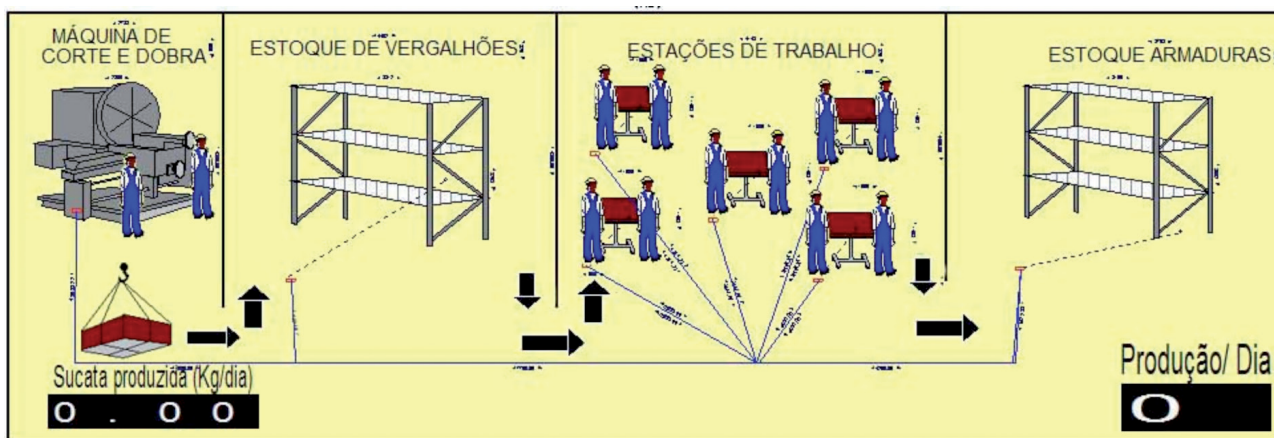


Figura 10: Layout virtual do processo produtivo no software Arena®

Fonte: Os autores.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS							
	SIMULAÇÃO REAL			SIMULAÇÃO COM MELHORIAS			GANHOS %
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	
TEMPO NA POLICORTE/BANCADA (MINUTO)	51.11	53.13	54.62	17.50	24.66	29.37	-53,58%
TEMPO DE TRANSPORTE (MINUTO)	6.3	7.5	8	4.01	4.01	4.01	-46,53%
TAMANHO DA FILA NAS BANCADAS (UND)	4.63	4.83	4.90	00.00	13.24	28.00	-174,12%
TAMANHO DA FILA NA POLICORTE (UND)	0.25	0.27	0.29	00.00	0.06	3	-77,77%
TAXA DE OCUPAÇÃO DA POLICORTE	16,22%	17,21%	17,96%	00,00%	91,39%	100,00%	431,02%
TAXA DE OCUPAÇÃO DAS BANCADAS	58,72%	60,38%	62,13%	00,00%	87,34%	100,00%	44,65%
MÉDIA DE FABRICAÇÃO HOMEM/ARMADURA (UND)	8,5			10,8			27,05%
MÉDIA DE ARMADURAS PRODUZIDAS (UND/DIA)	85			130			52,94%
QUANTIDADE DE VERGALHÕES UTILIZADOS (UND/DIA)	510			780			52,94%
MÉDIA DA SUCATA PRODUZIDA (Kg/DIA)	209,75			52,72			-74,86%
QUANTIDADE DE COLABORADORES (UND)	10			12			20%
QUANTIDADE DE HORAS TRABALHADAS/DIA	8,5			8,5			
MÉDIA DE ESTOQUE VERGALHÕES (UND/DIA)	0			900			

Quadro 5: Dados fornecidos pelos relatórios do software Arena®

Fonte: O autor.

e que afetam diretamente as variáveis importantes neste processo produtivo, como a produtividade, o tempo de carregamento e a sucata.

Na simulação com melhorias como se observa no quadro 5, obteve-se um ganho de 46,53% no tempo de transporte da matéria-prima, uma redução de 74,86% na geração de sucata, ou seja: um melhor aproveitamento da matéria-prima; também um ganho de estoque de vergalhões para aproximadamente um dia de produção, um aumento médio na taxa de ocupação das bancadas de trabalho de 44,65%; e, com a troca das duas policorte pela máquina de corte e dobra juntamente com a contratação de dois operadores para a mesma, obteve-se uma taxa de ocupação de 431,02%. Por fim, um ganho 52,94% de produtividade.

## 6 Considerações finais

Em alinhamento ao objetivo geral do estudo, foi possível estudar e aplicar as ferramentas, o método IDEF-SIM, *software Input Analyzer*® e o *software* de simulação Arena® para identificar possíveis pontos de melhorias e demonstrar como a simulação computacional é capaz de acarretar melhorias nos processos produtivos. Utilizou-se o método IDEF-SIM para obtenção do modelo conceitual cuja finalidade era auxiliar o processo de simulação. Para o tratamento de dados de entrada foi utilizado o *software Input Analyzer*®. O *software* Arena® teve a função de simular, usando-se dados coletados do processo real, e, posteriormente, a simulação com as melhorias identificadas através dos relatórios do processo real.

Quanto ao problema de pesquisa citado por este artigo chegou-se à conclusão de que o uso da teoria aliado às ferramentas de simulação é viável, visto que tangível o alcance de benefícios e melhorias nos processos na implantação de incrementos dentro do processo produtivo da empresa. Com

fundamento no exposto, o presente trabalho visou demonstrar de que forma a simulação computacional pode contribuir para a melhoria dos processos produtivos e na medida em que foi possível propor melhorias significativas e conseguiu-se perceber que isto pode trazer resultados favoráveis à modificação nas etapas do processo produtivo, percebeu-se também a possibilidade do aumento significativo em diversos indicadores no campo do processo de produção de armaduras na empresa em estudo.

As inovações incrementais são importantes nas organizações, pois, se associadas ao processo de simulação, poderão prever resultados satisfatórios, permitindo a proposição novos modelos que poderão ser adotados pelas organizações, melhorando assim diversas variáveis dentro do processo produtivo a exemplo da produtividade, do uso da matéria-prima, da qualidade no local de trabalho, dentre outros.

Sendo assim, pode-se afirmar o quão é importante, que grandes e pequenas empresas venham aderir às novas tecnologias, e buscarem cada vez mais a melhoria nos processos, para que assim os grandes problemas que estão presentes no dia-a-dia empresarial, possivelmente possam ser resolvidos com mais rapidez, diminuído assim as chances de desperdício de tempo, que é imprescindível para o bom andamento da produção. Os *softwares* de simulação, especificamente o Arena, fazem parte dessas inovações tecnológicas, e se tornam mais populares a cada dia no meio empresarial, indo desde as empresas de manufatura até às empresas de comunicação, tornando mais fácil a tomada de decisão dos gerentes da produção.

## Referências

Barbosa, M. A., Zanardini, A. D. (2014). *Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão* 2a ed. Curitiba: Atual.



- Belfiore, P., Fávero, L. P. (2013). *Pesquisa operacional: para cursos de engenharia*. Rio de Janeiro: ELSEVIER.
- Berge, C. (2001). *The Theory of Graphs*. New York: Dover Publications.
- DEMAG: banco de dados. (n. d.). Recuperado em 15 janeiro, 2017, de <http://www.demagcranes.com.br/page102104.html>.
- Deo, N. (1974). *Graph Theory: with applications to engineering and computer science*. Washington: Prentice-Hall.
- Feofiloff, P., Kohayakawa, Y; Wakabayashi, Y. (2004). Uma introdução sucinta à teoria dos grafos. In: *II Bienal da Sociedade Brasileira de Matemática, Salvador*.
- Freitas, P. J., Filho (2001). *Introdução a modelagem e simulação*. Florianópolis: Visual Books.
- Gavira, M. O. (2003). *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Kauark, F. da S., Manhães, F. C., Medeiros, C. H. (2010). *Metodologia de pesquisa: um guia prático*. Bahia: Via Litterarum.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. e Sturrock, D. T. (2004). *Simulation with Arena* 3a ed. New York: McGraw- Hill.
- Leal, F., Almeida, D. A. de e Montevechi, J. A. B. (2008). 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.
- Maximiano, A. C. A. (2015). *Fundamentos da Administração: introdução à teoria geral e aos processos da administração* 3a ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Mooney, C. Z. (1997). *Monte Carlo Simulation Series: quantitative applications in the social sciences* 116a ed. California: Sage Publications.
- Milani, M. O., Mendonça, F. C. (2016). *Aplicação de Teoria das Filas para modelagem e análise desempenho no setor de recursos humanos de uma indústria alimentícia*. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa, PB, Brasil, 36. Recuperado em 15 janeiro, 2017, de [http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_231\\_350\\_28955.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_28955.pdf)
- Pinho, A.F., Leal, F., Montevechi, J.A.B., Costa, R.F.S. (2009). Utilização de Lego® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Anais... Salvador – BA.
- Pradanov, C. C., Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. Rio Grande do Sul: Feevale.
- Prado, D. S. do. (2003). *Usando o Arena em simulação*. vol. 3. Belo Horizonte. INDG tecnologia e serviço.
- Ritzman, L. P., Krajewski, L. J. (2004). *Administração da produção e operações*. Tradução Roberto Galman; revisão técnica Carlos Eduardo Mariano da Silva. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Rodriguez, A. M. V., Martin, F. A., Couso, F. G. (2014). *Teoría de grafos: ejercicios resueltos y propuestos laboratorio con sage*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Silva, J.E.A.R., Alves, M.R.P.A., Costa, M.A.B. (2011) *Planejamento de turnos de trabalho: Uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta*. Gestao & Produção. São Carlos, 18(1), p 79-90.
- SCHNELBRASIL: banco de dados. (n.d.). Recuperado em 15 janeiro, 2017, de <http://www.schnellbrasil.com.br/portfolio-type/prima>.
- Shamblin, J. E, Jr. G. T. Stevens. (1979). *Pesquisa Operacional: uma abordagem básica*. tradução Carlos Roberto Vieira de Araújo. São Paulo: Atlas.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). *Administração da produção*. (3a. ed.). São Paulo: Atlas.
- Taha, H. A. (2008). *Pesquisa Operacional: uma visão geral* 8a ed. São Paulo: Pearson Prentice.
- Winston, W. L. (2003). *Operations Research: applications and algorithms*. 4 ed. Houston: Cengage Learning.
- Vergara, S. C. (1998). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração* 2a ed. São Paulo: Atlas.

Recebido em 3 out. 2017 / aprovado em 1º mar. 2018

**Para referenciar este texto**

Gerônimo, M. S., Pereira, A. C. S., Mesquita, A. L. G., Santos II, A. B., & Moreira, A. V. G. O uso da simulação computacional para melhoria nos processos produtivos: uma aplicação da teoria de filas com o uso de simuladores. *Exacta*, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 167-180, 2018.