

AS CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL VIA PROMODEL: UM PANORAMA GERAL DE APLICAÇÕES

Lyvia Pereira dos Santos¹, Universidade Federal de Sergipe, lyvia.pstos@gmail.com
Mateus Santos Vieira², Universidade Federal de Sergipe, mateus.ufs.eprod@gmail.com
Emerson Cleister Lima Muniz³, Universidade Federal de Sergipe,
eng.prod.emerson@gmail.com

Resumo: A busca incessante por novas formas de se produzir é um dos meios que empresas adotam para se manterem competitivas. E a simulação computacional é uma alternativa de auxílio neste processo, sendo vista como uma alternativa de menor custo para prever e estudar possíveis alterações nos processos. Assim, o artigo buscou desenvolver um panorama geral, relacionando as principais contribuições e limitações detectadas através da aplicação da simulação via ProModel. Para tanto, uma pesquisa bibliográfica foi empregada e após análise dos trabalhos, pôde-se perceber que o ProModel é muito empregado nos setores automotivo e acadêmico. E dentre as contribuições, percebe-se a possibilidade do uso da visão sistêmica, permitindo uma melhor análise dos impactos gerados por mudanças. A nível de dificuldades, pode-se mencionar o uso excessivo de detalhamento nos modelos conceituais e que dificultam a fidedignidade na criação dos modelos computacionais.

Palavras-chave: ProModel; Simulação computacional; Panorama geral.

1. Introdução

Com o crescimento da globalização e das diversas tecnologias associadas aos sistemas produtivos, pode-se notar que o número de empresas que adentram no mercado vem crescendo largamente (FIGUEREDO *et al.*, 2015). E este crescimento, contribui de modo direto para o aumento da competitividade, fazendo com que as empresas busquem sempre o aperfeiçoamento de seus processos e produtos (CARARA, 2014).

Diante da necessidade acima citada, um investimento que pode ser realizado é o de analisar e compreender cada vez mais e melhor o processo produtivo. Entender as particularidades de cada fase da produção é essencial para uma futura melhoria e também, para prevenir ou corrigir possíveis gargalos (VIDA *et al.*, 2014). E através destas melhorias, ou suas análises, pode-se, por exemplo, reduzir desperdícios no processo implicando assim em aumentos significativos da produtividade (ALMEIDA *et al.*, 2015).

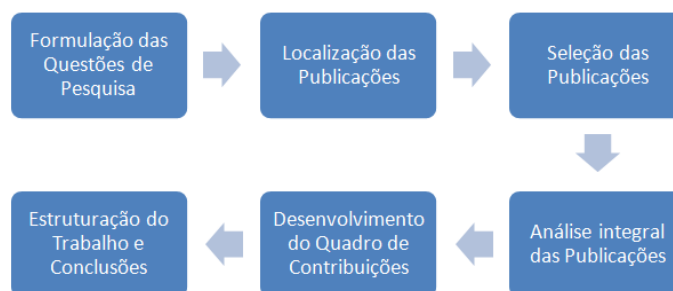
No entanto, análises convencionais do processo podem não ser o suficiente para a sua otimização, deixando lacunas na descrição de sistemas. É neste contexto, que a simulação se torna uma alternativa interessante por possibilitar a previsão e estudo de possíveis melhorias (GREASLEY, 2003).

Por fim, e tendo em vista a popularização da simulação como meio de análise de melhorias em diversos sistemas, o software de simulação computacional ProModel aparece como uma das opções de ferramentas que são conhecidas atualmente (CASTANHARO; CAMPOS, 2015) Diante disto, o mesmo será objeto de estudo deste trabalho que objetiva apresentar um panorama geral da aplicação do simulador ProModel nos mais diversos sistemas produtivos, inserindo neste contexto um conjunto de discussões e assertivas que permitam expor suas principais contribuições, benefícios, dificuldades e novas possibilidades de aplicação do mesmo.

2. Métodos Adotados na Pesquisa

O trabalho enquadra-se em pesquisa bibliográfica através da busca de publicações nos Anais dos dois maiores congressos de Engenharia de Produção do país, o Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP e o Simpósio de Engenharia de Produção – SIMEP (GIL, 2010). O levantamento de publicações ocorreu em âmbito nacional, com foco em trabalhos publicados nos últimos dez anos, visando a obtenção de pesquisas mais recentes. A pesquisa foi desenvolvida através dos passos expostos na Figura 1.

Figura 1 - Passos adotados na pesquisa



Fonte: Autores da pesquisa.

Na questão de pesquisa, este trabalho buscou responder quais seriam as principais contribuições advindas da aplicação do ProModel na simulação e melhoria de sistemas produtivos. Para localização de publicações, foram empregados os termos de busca “ProModel” e “Simulação”. A busca, inicialmente, apenas nos Anais dos dois eventos

supracitados deu-se pelo fato deste possuírem uma maior relevância dentro do cenário da Engenharia de Produção no país e por possuírem o maior número de publicações por edição de evento.

A seleção das publicações se deu pela leitura de títulos, resumos e *abstracts*, sendo selecionados àqueles que apresentaram conteúdo convergente com o foco da pesquisa, sendo selecionados um total de 32 publicações para análise. Após esta seleção, todos os trabalhos foram lidos e analisados integralmente, permitindo com isto, o desenvolvimento da pesquisa e as conclusões apresentadas.

3. A Simulação e suas ferramentas

Harrel *et al.*, (2000) definem a simulação como a reprodução de um sistema real em um modelo computacional, visando avaliar e melhorar seu desempenho. Já Pacheco (2010), afirma que ela é um processo de análise e tomada de decisão sobre um modelo que representa características estáticas ou dinâmicas de um sistema. Ela vem auxiliando as organizações na previsão de demanda por serviços e produtos, na reestruturação de arranjos produtivos e consequente organização do processo produtivo (PRADO, 2014).

Como vantagens da simulação no processo de decisão, Maciel, Montevechi e Pereira (2013) a promoção de soluções criativas, a previsão de resultados, a eficiência econômica, a consideração de mutação das variáveis, dentre outros. Em complemento, Freitas Filho (2008) inclui também o uso ilimitado dos modelos criados. Já a nível de desvantagens, pode-se mencionar as relacionadas com o treinamento especial requerido na construção do modelo, a dificuldade de interpretação dos resultados por conta da aleatoriedade, e o tempo demandado para modelagem e análise dos modelos, implicando no aumento de custos (TORRES, 2001). Em conclusão a isto, Freitas (2016) afirma que para obter o máximo de vantagens e o mínimo de desvantagens, os modelos construídos necessitam ter um bom entendimento de todos os recursos envolvidos no estudo, seus insumos, bem como indicadores de produtividade.

3.1. O ProModel

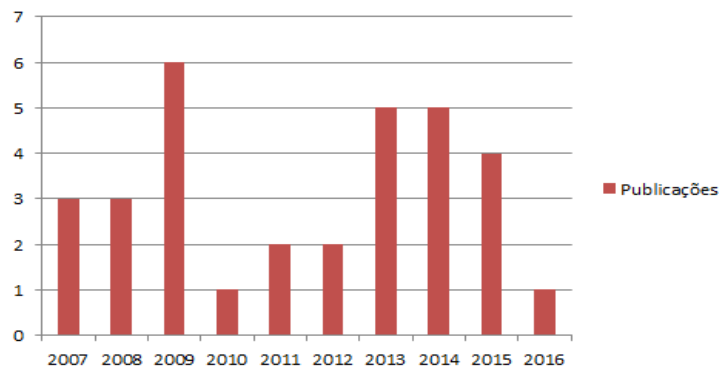
O ProModel é um software de simulação desenvolvido pela Belge Consultoria, e é estruturado em simulações de eventos discretos. Ele é amplamente utilizado no planejamento, projeção e melhorias de novos processos da manufatura e serviços, em serviços logísticos e estratégicos, sem deixar de mencionar sua possibilidade de aplicação também no setor de serviços.

Em meio às facilidades oferecidas por programas de simulação como o ProModel, pode-se mencionar o fato dele poder trabalhar com sistemas complexos por meio da simulação de pequenos subsistemas. Os quais irão se unir e mesclar, passo a passo, até formar um sistema total, permitindo um total dos sistemas e locais simulados (RIVERO, PIEDRAHÍTA, 2003).

4. Panorama geral de aplicação do ProModel

Em uma análise dos trabalhos selecionados, não foi identificado nenhum pico quanto às publicações ao longo dos dez anos de análise. Pelo contrário, nota-se um certo equilíbrio de publicações principalmente nos anos de 2009, 2013 e 2014, conforme ilustrado na Figura 2.

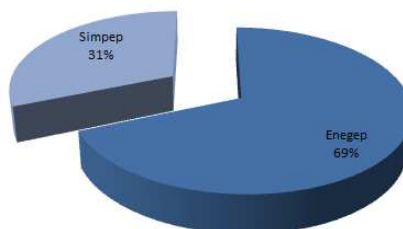
Figura 2 - Anos das publicações



Fonte: Dados da pesquisa

Em uma análise das duas bases para coleta dos trabalhos, pôde-se perceber um maior número de trabalhos no ENEGEP, com um total de 69% das publicações, conforme exposto na Figura 3. Este valor pode ser alusivo ao maior alcance que o evento possui dentro do país.

Figura 3 - Porcentagem de publicações por congresso

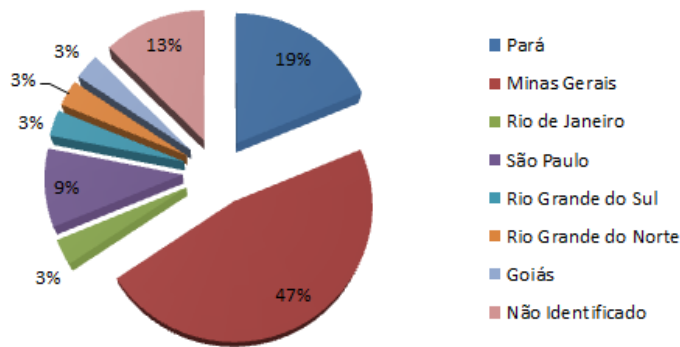


Fonte: Dados da pesquisa

Em sequência à análise bibliométrica dos trabalhos levantados, buscou-se então conhecer um pouco da distribuição dos estados onde a simulação foi aplicada, sendo este resultado visível através da Figura 4. Desta análise, percebe-se que os estados de Minas Gerais e Pará

apresentaram um maior número de trabalhos, possuindo o primeiro um total de 19 trabalhos e o segundo 06 trabalhos, correspondendo assim a 47% e 19% dos trabalhos analisados.

Figura 4 - Publicações por estado

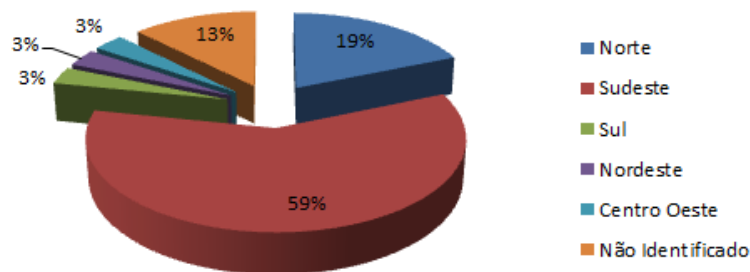


Fonte: Dados da pesquisa

Em complemento a isto, constatou-se que 13% dos trabalhos não divulgaram seus locais de aplicação a nível estadual, podendo-se deduzir como um dos principais motivos a necessidade de não exposição da empresa onde a pesquisa foi desenvolvida, visando assim manter sigilo dos dados analisados. Quanto ao maior número de publicações no estado de Minas Gerais, a pesquisa não identificou quais fatores contribuíram para isto, salientando apenas o maior número de aplicações foi advindo do setor automotivo.

Como consequência da análise anterior, a Figura 5 apresenta a distribuições destes trabalhos por região do país. De onde pode-se constatar que a região Sudeste contribuiu com uma maior quantidade de trabalhos, em decorrência da forte contribuição de trabalhos advindos do estado de Minas Gerais, bem como os demais estados.

Figura 5 - Publicações por região

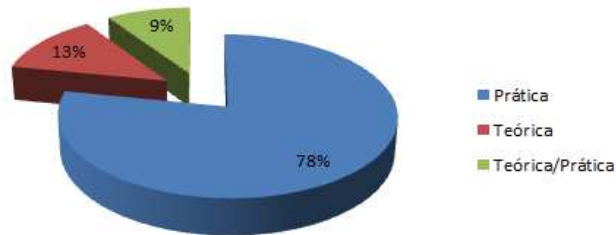


Fonte: Dados da pesquisa

À nível de tipologia dos trabalhos, os mesmos foram agrupados em trabalhos práticos, teóricos e teóricos/práticos de maneira a facilitar a análise e compreensão da metodologia, salientando que os de cunho prático estão relacionados às aplicações em estudos de caso. Já

os teóricos estão relacionados às revisões de literatura e os teóricos/práticos utilizam da comunhão de revisões bibliográficas e estudos de caso para auxiliar no processo de modelagem e tomada de decisão. Deste modo, e com base na Figura 6, percebe-se uma predominância de aplicações práticas, em decorrência do uso direto do software de simulação dentro dos mais diversos sistemas produtivos visando obtenção de melhorias significativas.

Figura 6 - Publicações por conceito

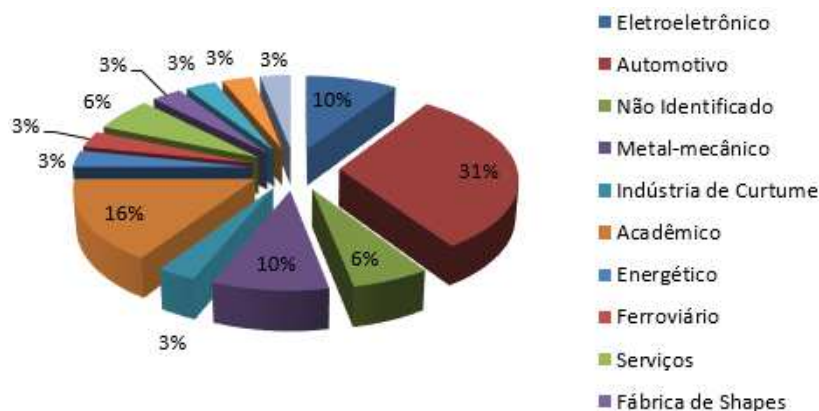


Fonte: Dados da pesquisa

No que diz respeito às aplicações do ProModel, a pesquisa enquadrou as mesmas em setores distintos como o Automotivo, Eletroeletrônico, Metal Mecânico, energético, sendo estas aplicações voltadas para a obtenção de melhorias nos respectivos sistemas produtivos.

Em complemento, tem-se também as aplicações do ProModel na área Acadêmica, onde buscou-se o desenvolvimento e geração de aprendizagem dentro de cursos e disciplinas específicas que fazem uso do simulador como ferramenta de estudo. Dentre os artigos analisados, alguns não puderam ser classificados por não exporem o tipo de área onde a simulação foi aplicada, sendo enquadrados como Não Identificados.

Figura 7 - Publicações por setor



Fonte: Dados da pesquisa

Baseado na Figura 7, nota-se que o setor automotivo é o que mais recebe o uso da simulação via ProModel, seguido pela área acadêmica. Uma possível justificativa para a quantidade de

publicações na área acadêmica reside no uso da simulação como ponto de melhoria no processo de ensino-aprendizagem, utilizando estas ferramentas como suporte. Para ilustrar esse caso, Silva *et al.*, (2011) propôs uma dinâmica de grupo entre alunos para desenvolver e implementar um processo produtivo em sala via ProModel.

Já Oliveira *et al.*, (2009) seguiu o mesmo caminho e sugeriu a aplicação de modelos de simulação discreta como recurso para o ensino do pensamento *Lean* aos alunos de Engenharia de Produção. E para melhor introduzir o contexto e panorama geral da aplicação da simulação, os quadros apresentados na sequência irão expor os principais objetivos e resultados alcançados pelos trabalhos, sendo estes separados por áreas de aplicação conforme exposta na Figura 7. O primeiro deles, o Quadro 1, relata a descrição dos trabalhos que apresentaram o emprego da simulação computacional no cenário acadêmico.

Quadro 1- Descrição de trabalhos no setor Acadêmico

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Acadêmico	Castanharo e Campos (2015)	Explorar o uso da simulação via software, de modo integrado com práticas pedagógicas em um Ambiente Simulado de Produção para apoio nas decisões de planejamento, controle e projeto do arranjo físico da linha.	As simulações com softwares permitiram a criação de diferentes layouts, permitindo aos discentes envolvidos testar a teoria em um ambiente prático, interpretando gráficos e tabelas fornecidos pelo software.
	Figueredo <i>et al.</i> , (2015)	Demonstrar para alunos, a importância da simulação computacional, através da recriação de ambientes produtivos, visando contribuir para o processo de aprendizagem destes.	As aulas práticas, auxiliam os discentes a compreender o mecanismo do mercado e a elaborar diferentes modelos de solução para parte dos problemas visualizados em uma organização estudada.
	Miranda <i>et al.</i> , (2014)	Comparar resultados de otimização de um modelo de simulação proposto, empregando três otimizadores comerciais.	Os resultados obtidos com as simulações e comparação com os indicadores aplicados no cenário real da organização, demonstraram congruências significativas.
	Oliveira <i>et al.</i> , (2009)	Aplicar modelos discretos de simulação computacional como um recurso didático para o ensino do Pensamento <i>Lean</i> na Engenharia de Produção.	Os recursos gráficos da simulação permitiram a visualização de sistemas de produção e seu mapeamento <i>Lean</i> , contribuindo para o aprendizado dos alunos.
	Silva <i>et al.</i> , (2011)	Propor uma dinâmica de grupo entre alunos para desenvolver e implementar um processo produtivo em sala via PROMODEL.	O método aplicado demonstrou eficiência para a compreensão da disciplina de Simulação, possibilitando a oportunidade de vivenciar ambientes produtivos.

Fonte: Dados da pesquisa

Os Quadros 2 e 3 apresentam a descrição geral de trabalhos no setor automotivo, bem como os resultados provenientes dos estudos, permitindo assim identificar objetivos similares, como

a busca de auxílio para análise da viabilidade, identificação de diferentes arranjos físicos e o aumento da produtividade.

Quadro 2 - Descrição de trabalhos no setor automotivo

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Automotivo	Bitencourt e Santos (2008)	Identificar a viabilidade do atendimento de metas de produção através de mudanças no processo produtivo via simulação.	O modelo criado no software possibilitou criação de novas alternativas na organização e layout do sistema, permitindo assim o atendimento da demanda por produtos.
	Carara (2014)	Aplicar simulação para propor uma sistemática para alocar tarefas entre postos de trabalho com base no <i>Takt Time</i> , minimizar tempo ocioso e maximizar utilização produtiva.	O modelo criado via simulação mostrou-se de grande importância para o processo de tomada de decisões, e seus resultados permitiram uma melhor alocação das atividades entre os postos de trabalho.
	Carvalho Neto (2015)	Encontrar cenários que possibilitem o aumento da taxa de produção, evitando custos financeiros.	Os cenários permitiram aumentos na produção de peças dentro da linha produtiva.
	Costa <i>et al.</i> , (2009)	Apresentar uma aplicação conjunta da simulação a eventos discretos com a análise econômica de investimentos para avaliar cenários, que apresentam maior viabilidade para a organização.	A simulação permitiu um maior conhecimento do processo produtivo, dado que os cenários criados possibilitaram uma melhor reflexão e validação das etapas do processo.
	Leal <i>et al.</i> , (2007)	Analisar a utilização da técnica IDEF0 na modelagem conceitual de um processo de manufatura a ser simulado.	A aplicação da pesquisa bibliográfica juntamente com a técnica IDEF0 demonstrou-se eficiente para a modelagem conceitual de um modo geral.

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 3 - Descrição de trabalhos no setor automotivo

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Automotivo	Leal <i>et al.</i> , (2009)	Desenvolver e aplicar uma técnica própria para criação de lógica para modelagem conceitual similar à lógica utilizada nos modelos de simulação computacional.	A técnica permitiu o emprego de melhorias na etapa de validação "face a face" com os envolvidos no processo, e na fase de modelagem conceitual e documentação agilizando todo o processo de verificação e validação.
	Maciel <i>et al.</i> , (2013)	Aplicar a simulação e suas projeções para analisar novas possibilidades de melhorias do Layout de uma linha de produção.	Os cenários criados permitiram a identificação de gargalos, assim como a necessidade de novas análises nos cenários criados, visando reduzir bloqueios da linha simulada e melhor utilização dos equipamentos.
	Monteiro e Oliveira (2010)	Propor um novo arranjo físico visando melhoria dos processos da organização.	Os resultados da simulação do arranjo físico proposto indicaram aumento na produtividade, otimização dos fluxos da empresa e das condições ergonômicas para os funcionários
	Oliveira <i>et al.</i> , (2007)	Analisar e propor melhorias através da simulação na utilização de recursos em uma linha de montagem de pneus.	As simulações demonstraram que o processo proposto ofereceu melhores resultados na produtividade, na economia de custos e uma maior eficiência produtiva, frente ao processo original empregado atualmente.
	Xavier <i>et al.</i> , (2009)	Através de simulação, verificar um novo layout para melhor atendimento da demanda produtiva diária exigida para uma nova linha de produção.	A simulação permitiu detectar um melhor tipo de layout para a linha em planejamento, demonstrando melhores resultados frente aos projetos de linha já planejados anteriormente pela gerência, com base na experiência.

Fonte:

Dados da pesquisa

O setor Eletroeletrônico, exposto no Quadro 4, ofereceu trabalhos com objetivos similares, onde todos buscaram sempre um modo para aumentar a produtividade, corrigindo, para isso, fatores que limitavam a produtividade, como a proposição de configuração de *layouts* alternativos.

Quadro 4 - Descrição de trabalhos no setor Eletroeletrônico

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Eletroeletrônico	Milani e Ignácio (2012)	Aplicar um modelo de simulação a eventos discretos para aperfeiçoar uma linha de montagem de servidores e <i>storages</i> em uma empresa eletrônica.	Através dos resultados estatísticos e gráficos do ProModel, foi possível identificar os principais problemas limitadores da produção, a utilização dos operadores no processo, dentre outros.
	Sousa <i>et al.</i> , (2013)	Analisar a cadeia produtiva de condutores elétricos de alumínio, visando encontrar a melhor estratégia para aumento da capacidade produtiva.	Criação de diversos cenários que proporcionaram aumentos na capacidade produtiva e auxiliam também no processo de tomada de decisão para a realização de investimentos na empresa.
	Vida <i>et al.</i> , (2014)	Apresentar o desenvolvimento de um projeto de simulação discreta em uma linha de montagem de eletrodomésticos.	O projeto de simulação possibilitou a configuração de duas alternativas de plantas que contribuíram para o aumento da produtividade e redução do custo total por peça produzida.

Fonte:

Dados da pesquisa

Já o Quadro 5 descreve o setor Metal-Mecânico, podendo-se observar também a presença de objetivos similares entre os trabalhos, convergindo assim para metas como a melhoria da produtividade e simulação de novos cenários.

Quadro 5 - Descrição de trabalhos no setor Metal-Mecânico

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Metal-Mecânico	Costa <i>et al.</i> , (2007)	Encontrar o melhor cenário para implementação de um fluxo contínuo entre as operações de uma célula produtiva.	A simulação permitiu visualizar qual seria o melhor cenário para implementação do fluxo contínuo proposto nos objetivos da pesquisa, garantindo assim bons indicadores produtivos.
	Ferreira e Silva (2011)	Através da simulação, verificar a possibilidade de melhoria na produtividade na linha de produção da organização.	A simulação permitiu a visualização de pontos dentro do processo, onde novos operadores pudessem ser inseridos, contribuindo para melhoria da produtividade da linha.
	Freitas <i>et al.</i> , (2013)	Construir um modelo computacional para simular a operação de uma nova planta.	O modelo proposto ofereceu dados quantitativos que permitiu alternativas distintas para alocação dos recursos e consequente redução do tempo de processamento na organização.

Fonte:

Dados da pesquisa

No setor de serviços, exposto no Quadro 6, os trabalhos não apresentaram objetivos diferentes dos já mencionados até aqui, buscando sempre a obtenção de melhorias nos processos via simulação.

Quadro 6 - Descrição de trabalhos no setor de Serviços

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Serviços	Almeida <i>et al.</i> , (2015)	Através da simulação computacional, determinar a capacidade e possíveis gargalos do processo de execução de um Projeto de Prevenção de Combate a Incêndio e Pânico, buscando melhorias no processo.	Através da simulação e dos resultados estatísticos, foi possível implantar melhorias no projeto assim como alterar o número de funcionários para melhor adequação do processo.
	Carvalho <i>et al.</i> , (2016)	Analisar a criação e dinâmica de filas no sistema de acesso em uma Universidade durante seu período de pico.	O modelo criado demonstrou coerência com a realidade, bem como os pontos onde melhorias poderiam ser aplicadas, visando assim reestruturação e melhoria das filas.

Fonte:

Dados da pesquisa

O Quadro 7 apresenta a descrição de trabalho com aplicações onde apenas um só trabalho foi obtido em cada setor. Deste modo, percebe-se que os objetivos divergem entre si em sua grande maioria, entretanto, alguns trabalhos expõem objetivos que convergem com os já destacados nos setores anteriores. Como pode ser observado nos trabalhos de Ferreira (2014) e Barral *et al.*, (2008), dentre outros.

Já o Quadro 8, apresenta o panorama de aplicação dos artigos onde não foi possível identificar os setores de aplicação da simulação, mas pode-se identificar os objetivos e principais resultados. Dentre estes objetivos, percebe-se que alguns dos trabalhos possuem objetivos distintos dos já expostos até então, como por exemplo, em Costa *et al.*, (2008) que buscou reduzir a resistência de seus colaboradores apresentando resultados gerados pelos softwares, a fim de comprovar a viabilidade da mudança para a organização. Já Silva *et al.*, (2013) teve como propósito averiguar os benefícios de uma possível expansão para a organização.

Quadro 7 - Descrição de trabalhos em setores diversos

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Petroquímico	Ferreira (2014)	Analisar a capacidade produtiva atual e futura de uma Base de Distribuição de Combustíveis Líquidos e criar cenários alternativos de expansão de capacidade, via simulação computacional discreta.	A simulação permitiu minimizar incertezas em futuras tomadas de decisão relacionadas a expansão da capacidade, devido a previsão de dificuldades. Além disso os resultados apontaram que a infraestrutura atual não suportaria aumento de capacidade sem comprometer o nível de atendimento atual.
Energético	Leal <i>et al.</i> , (2009)	Analisar a interferência do trabalho humano nos resultados de um modelo de simulação.	Através da simulação foi possível concluir que os recursos humanos devem ser tratados de forma distinta dos recursos automatizados, pois existem variáveis que comprometem as saídas do modelo proposto, como a quantidade produzida.
Fábrica de pranchas	Souza <i>et al.</i> , (2013)	Elaborar e validar uma sugestão de layout baseada em revisão bibliográfica e características propostas, utilizando um software de simulação.	A simulação permitiu demonstrar um novo tipo de layout para o processo, no caso o por produto, e gerando melhores resultados produtivos.
Ferroviário	Sales e Paiva (2014)	Identificar os problemas frequentes no sistema ferroviário, responsáveis pelos gargalos nos pátios ferroviários e consequente proposição de melhorias.	Os cenários criados com a simulação permitiram redução nos tempos de espera e de utilização dos processos.
Indústria de Curtume	Barral <i>et al.</i> , (2008)	Construir modelos computacionais para proposição de melhorias no sistema.	Os modelos construídos criaram alternativas para gerar maiores ganhos de desempenho no sistema, frente ao modelo empregado atualmente.
Calçados	Lopes <i>et al.</i> , (2012)	Estudar a viabilidade produtiva e financeira da expansão de uma empresa de calçados.	Através da simulação, percebeu-se que o projeto de expansão possui viabilidade produtiva e financeira, sendo que o retorno financeiro foi alcançado no segundo ano de produção.
Construção Civil	Barral <i>et al.</i> , (2009)	Aplicar a simulação para verificar o ciclo de abastecimento realizado por caminhões em uma central de britagem.	A simulação permitiu definir o número ideal de caminhões para melhorar o processo de abastecimento no centro de britagem.

Fonte:

Dados da Pesquisa

Quadro 8 - Descrição de trabalhos com setor não identificado

Setor	Referencias	Objetivos	Resultados
Não identificado	Costa <i>et al.</i> , (2008)	Demonstrar como modelos de simulação a eventos discretos podem auxiliar na comunicação de mudanças aos colaboradores em uma célula de manufatura.	Os modelos, junto com seus recursos gráficos e estatísticos demonstraram boa aceitação na organização e mostrou-se eficiente na redução da resistência dos colaboradores frente às mudanças propostas na organização.
	Silva <i>et al.</i> , (2013)	Projetar a expansão de uma organização e avaliação conjunta de sua viabilidade.	Através da análise dos resultados qualitativos e quantitativos da simulação foi possível comprovar a viabilidade econômica e operacional do projeto de expansão proposto.

Fonte: Dados da Pesquisa

Na sequência buscou-se também identificar as principais contribuições advindas do uso da simulação via ProModel em diversos setores, gerando assim o Quadro 9 foi estruturado e através dele pode-se perceber que diferentes autores expõem contribuições semelhantes, como por exemplo em Costa *et al.*, (2007) e Barral *et al.*, (2008), que exprimem o fato de que é possível empregar modificações no modelo conceitual e atingir objetivos satisfatórios, de maneira a evitar maiores custos financeiros para a empresa. Já em Xavier *et al.*, (2009); Maciel *et al.*, (2013) e Carara (2014), percebe-se congruência quando relatam a importância da ferramenta no processo de auxílio para tomada de decisões, de modo que as informações geradas contribuem para uma melhor compreensão e verificação de alternativas propostas.

Quadro 9 - Principais contribuições

Setor	Contribuições	Autores
Indústria Automotiva	<ul style="list-style-type: none"> -Identificação de Gargalos; -Redução de custos operacionais; -Visualização de impactos em todo o processo produtivo, decorrente de alterações pontuais no sistema (visão sistêmica); -Análise do processo e projeção de cenários sem necessidade de alteração do sistema real em estudo previamente; -Análise de resultados obtidos com a criação de cenários e projeções de melhorias virtualmente, sem custo associado à produção; -Demonstração de ambientes futuros aos colaboradores, gerando melhor compreensão de mudanças organizacionais; -Redução de resistência quanto a mudanças nos sistemas em estudo, em decorrência da criação e visualização de cenários por todos os envolvidos; -Auxílio no processo de decisão; -Melhor visualização das opções de decisão a serem tomadas; 	Carvalho Neto (2015); Bitencourt e Santos (2008); Monteiro e Oliveira (2010); Oliveira et al. (2007); Costa et al. (2009); Xavier et al. (2009); Maciel et al. (2013) e Carara (2014).
Metal-Mecânico	<ul style="list-style-type: none"> -Melhoria da produtividade; - Melhoria no processo de otimização e utilização de recurso; -Criação de cenários para implementação de melhorias nos sistemas; -Melhor compreensão dos processos, através da geração de dados quantitativos sobre o funcionamento dos processos; -Projeção de novos arranjos físicos para os sistemas produtivos. 	Freitas et al. (2013); Costa et al. (2007); Ferreira e Silva (2011)
Acadêmico	<ul style="list-style-type: none"> -Auxílio no processo de ensino-aprendizagem de alunos; -Visualização facilitada de resultados futuros pelos alunos; - Auxílio na Verificação do funcionamento de modelos propostos em sala; -Aplicação de Modelos propostos em sistemas reais; - A simulação estimula a busca por soluções de situações do cotidiano que envolvem tomadas de decisões; -Replicação de casos simples do dia a dia do estudando em sala auxiliam no processo de ensino-aprendizagem. 	Oliveira et al. (2009); Castanharo e Campos (2015); Silva et al. (2011); Figueredo et al. (2015)
Setores Diversos	<ul style="list-style-type: none"> -Criação de cenários para análise de decisões futuras; -Permite alterações de modelos computacionais, sem alteração prévia dos sistemas reais em análise; -Identificação de limitações em processos produtivos; - Colaboração para visão sistêmica dos processos; -Auxílio na seleção e estruturação de arranjos físicos; -A construção de modelos permite melhor monitoramento do comportamento de filas em serviços; -Auxílio no processo de tomada de decisões pelos gestores de serviços. 	Souza et al., (2013); Carvalho et al., (2016); Almeida et al., (2015); Sales e Paiva (2014); Barral et al., (2008); Barral et al., (2009); Milani e Ignácio (2012)

Fonte: Dados da Pesquisa

De modo análogo, o Quadro 10 foi estruturado demonstrando uma concatenação de dificuldades encontradas pelos pesquisadores. Entretanto, cabe aqui mencionar uma das dificuldades desta pesquisa, dado que a identificação e levantamento das dificuldades não foi tarefa fácil, pois a grande maioria dos trabalhos analisados não relataram de modo direto estas dificuldades.

Do Quadro 10, pode-se perceber que Leal *et al.*, (2009) e Lopes *et al.*, (2012) relataram dificuldades que dizem respeito ao excesso de detalhes na modelagem de processos. De fato,

sistemas muito complexos podem se tornar um trabalho árduo quando o programador se vê obrigado a simplificá-lo, sem perder a coesão e a relação estreita e fiel à realidade.

Quadro 10 - Principais dificuldades

Dificuldades	Autores
<ul style="list-style-type: none"> -Representação de arranjos físicos dentro dos modelos computacionais; -O uso excessivo de detalhes nos modelos conceituais tornou-se complicado a construção e compreensão do modelo computacional; -Pouco conhecimento de técnicas e conceitos da simulação, por parte dos alunos; -Ausência de conhecimento básico em programação; -Realizar testes para comprovação de resultados expostos pela simulação, principalmente no ambiente acadêmico; -Identificação de tempos para os processos produtivos; -Alinhamento com a literatura, dos tempos levantados no chão de fábrica; -Simplificação em relação às estruturas dos modelos computacionais; -Retratar, de modo objetivo, os processos em análise; -Alto número de variáveis a serem inseridos e analisados nos modelos computacionais; -Busca constante pela fidedignidade na representação dos dados coletados; -Cronometragem dos tempos necessários para representação em modelos; -Análise dos resultados obtidos para geração de melhorias; 	Monteiro e Oliveira <i>et al.</i> , (2010); Oliveira <i>et al.</i> , (2009); Almeida <i>et al.</i> , (2015); Lopes <i>et al.</i> , (2012); Vida <i>et al.</i> , (2014); Leal <i>et al.</i> , (2009); Ferreira (2014)

Fonte: Dados da Pesquisa

No mesmo contexto, Ferreira (2014) e Almeida *et al.*, (2015) relacionaram suas dificuldades como a tomada de tempos e a dificuldade na coleta de dados, as quais representam o funcionamento real do sistema. Tal dificuldade explica-se pois, antes da simulação, é imprescindível conhecer profundamente o processo. Sendo assim, é necessário a medida de tempos e coleta de dados para traduzir todo esse funcionamento ao software de simulação.

5. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo apresentar um panorama geral da aplicação da simulação computacional, através da aplicação do simulador ProModel em diversos sistemas produtivos, utilizando discussões que expõem as contribuições e dificuldades do mesmo, além de propor novas possibilidades de aplicações.

Diante disto, conclui-se que a pesquisa alcançou o objetivo pretendido, ao passo que se demonstrou a variedade de aplicações do ProModel nos mais diferentes setores. Bem como a convergência existente entre as contribuições/dificuldades tanto em publicações dos mesmos setores como em setores distintos, assim como a agregação de objetivos em decorrência de seus propósitos.

Através dos dados obtidos, observa-se pouco uso da aplicação da simulação via ProModel em processos relacionados aos serviços, representado por apenas 3% dos trabalhos analisados.

Que por sua pode ser visto como um ponto de surpresa para a pesquisa, dado que o campo dos serviços é fértil para desenvolvimento de diversas simulações. Ainda nesse contexto, constata-se que o setor automotivo foi o que apresentou o maior número de aplicações da simulação, representando um total de 31%. Isto, por sua vez, demonstra que este setor é um dos mais propensos à aplicação da simulação computacional.

Em complemento às conclusões, verifica-se também que o simulador analisado é capaz de atingir as expectativas de seus usuários, independente do objetivo que tenha movido o desenvolvimento da pesquisa. Constata-se também que é possível criar um modelo computacional próximo ao modelo real e usufruir assim de alternativas que evitem o alto custo financeiro e contribuam para um melhor controle de planejamentos.

Para trabalhos futuros, propõe-se a expansão de busca destas aplicações em bases de dados internacionais. Já a nível de aplicação, propõe-se o uso do mesmo em outros setores, buscando demonstrar os benefícios quanto a empregabilidade do simulador, como no setor público como universidades, escolas, hospitais. Nestes a simulação pode contribuir na otimização do fluxo de clientes, permitindo identificação de problemas e avaliação de soluções plausíveis.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, *et al.*, Proposta de melhoria no serviço de engenharia de projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico por meio da simulação a eventos discretos. In: ENCONTR O NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 2015.
- BARRAL, *et al.*, A simulação computacional na indústria da construção civil: estudo do ciclo de caminhões basculantes no abastecimento de uma central de britagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2009.
- BARRAL *et al.*, Estudo do setor de expedição de uma indústria de curtume utilizando simulação computacional. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2008.
- Belge Consultoria. Disponível em:<<http://www.belge.com.br/promodel-intro.php>>. Acessado em: 08 de jan. 2017.
- BITENCOURT, R. S.; SANTOS, P. H. Aplicação da simulação computacional como apoio às decisões operacionais: um estudo no setor industrial. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2008.
- CARARA, B. Balanceamento de uma linha de produção através de experimentos de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.
- CARVALHO, T. C.; SILVA, D. J.; MENDES, A. F. Análise do fluxo de pessoas no sistema de acesso em uma universidade - uma aplicação da teoria das filas utilizando o promodel®.

- In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, João Pessoa, Paraíba, 2016.
- CASTANHARO, M.; CAMPOS, R. Desenvolvimento de um cenário e uso de um software de simulação em visando o ensino em gestão da produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 2015.
- COBRA, Marcos. **Administração de marketing no Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- COSTA, *et al.*, Implantação do fluxo contínuo em uma célula de manufatura através de um estudo de simulação de eventos discretos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2007.
- COSTA, *et al.*, Minimização da resistência às mudanças em uma célula de manufatura utilizando um modelo de simulação a eventos discretos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2008.
- COSTA *et al.*, Avaliação econômica de cenários para uma célula de manufatura por simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2009.
- FERREIRA, A. L. Análise da capacidade de atendimento de uma base de distribuição de combustíveis líquidos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.
- FERREIRA, M. M.; SILVA, N. R. G. Proposta de melhoria no serviço de engenharia de projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico por meio da simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.
- FIGUEREDO *et al.*, A importância de um processo de simulação recriado em um ambiente educacional a fim de auxiliar no processo ensino-aprendizado dos alunos de engenharia de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 2015.
- FREITAS FILHO, P. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2ª edição. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- FREITAS, N. N. A simulação de processos como ferramenta de suporte à decisão. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Recife, Pernambuco, 2016.
- FREITAS, V. A.; MEZA, E. B. M.; TAMMELA, I. Mensuração e otimização da produtividade da linha de usinagem de acessórios premium através da simulação computacional. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2013.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GREASLEY, A. **Using business-process simulation within a business-process reengineering approach**. *Business Process Management Journal*. Vol. 9 No. 4, pp. 408-420, 2003.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel®**. New York: McGraw-Hill, 2000
- LEAL *et al.*, Elaboração de modelos conceituais em simulação computacional através de adaptações na técnica IDEF0: uma aplicação prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.

LEAL, T. C.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Modelagem do trabalho humano em sistemas de manufatura através da simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2009.

LOPES *et al.*, Análise de uma linha de montagem de uma indústria de eletrodomésticos por meio da simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2012.

MACIEL, A. C.; MONTEVECHI, J. A. B.; PEREIRA, T. F. Análise da alteração de leiaute em uma linha de manufatura de um componente automotivo através da simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2013.

MILANI, F. M. IGNACIO, P. S. A. Aplicação de simulação em gestão de processos operacionais - um estudo de caso na indústria eletrônica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2012.

MONTEIRO, K. P.; OLIVEIRA, R. C. Simulação como ferramenta de apoio a tomada de decisão em projeto de arranjo físico: estudo de caso em uma empresa de recapagem de pneus. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2010.

NETO, L. C. Aplicação da simulação a eventos discretos em uma linha de produção do setor automobilístico. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2015.

OLIVEIRA *et al.*, Ensino do mapeamento Lean utilizando como recurso didático a simulação computacional a eventos discreto. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, U. R. O.; MONTEVICH, J. A. B.; MARINS, F. A. S. Integração entre o mapeamento de processos e a simulação de eventos discretos: o caso de uma montadora de pneus. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.

PACHECHO, D. A. J. A Análise da sinergia entre o mapeamento de fluxo de valor e a simulação computacional para o aumento da produtividade em sistemas de manufatura: um estudo de caso em uma linha de montagem multi-modelos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, São Carlos, São Paulo, 2010.

RIVERO, L. E. B.; PIEDRAHÍTA, I. D. F. **Simulación con Promodel: Casos de producción y logística**. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de ingeniería, 2003. 256 p.

SALES, I. B.; PAIVA, E. J. Teoria das filas e simulação para o diagnóstico de gargalos em pátios ferroviários. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.

SILVA *et al.*, Projeto de expansão de uma empresa de produtos sob encomendas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2013.

SILVA *et al.*, Estudo de dinâmica de grupo como método educacional através do uso de simulação computacional. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2011.

SOUZA *et al.*, Estudo da manufatura da prancha de skate: uma simulação do arranjo físico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2009.

SOUZA, T. A. A.; CARVALHO, E. R. MELO, A. C. S. Simulação computacional como ferramenta de gestão de processos: estudo voltado à avaliação de diferentes alternativas de

aumento da capacidade em uma empresa produtora de cabos elétricos de alumínio. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, São Paulo, 2013.

TORRES, I. Integração de Ferramentas Computacionais aplicadas ao Projeto e Desenvolvimento de Arranjo Físico de Instalações Industriais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2001.

VIDA, L.; MONTEVICHI, J. A. B.; LIMA, J. P. Análise de uma linha de montagem de uma indústria de eletrodomésticos por meio da simulação a eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Curitiba, Paraná, 2014.

XAVIER *et al.*, A simulação a eventos discretos como ferramenta de tomada de decisão na implementação de uma linha de montagem em uma indústria do setor automobilístico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, Bahia, 2009.