

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: GESTÃO DE ESTOQUES PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Mirela Schramm Tonetto

mirelatonetto@gmail.com

Felipe Onófrío

felipeonofrio@hotmail.com

Douglas Comassetto Hamerski

douglas_hamerski@hotmail.com

LEANDER LUIZ KLEIN

kleander88@gmail.com

Ricardo Augusto Cassel

cassel@producao.ufrgs.br



Técnicas tradicionais de planejamento têm um potencial limitado para descrever e modelar os processos da construção civil. Em meio ao cenário de incertezas, perdas, fluxos e conversões do ambiente da construção, os modelos de simulação de eventos discretos possuem um amplo potencial. A simulação visa representar operações e processos do mundo real através de modelos, com o intuito de entender, mudar, gerenciar ou controlar parte de uma realidade conhecida. Essa é uma das técnicas mais utilizadas em pesquisas de operações e gestão, porém tem recebido pouca atenção no setor da construção. Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto que variações na gestão de estoque e pedidos de compra possuem no tempo de entrega da etapa de produção de alvenaria de vedação em empreendimentos de construção. Para isso foi desenvolvido um modelo de simulação de eventos discretos com o software ProModel. O modelo visa auxiliar gestores na definição de estoques para os seus sistemas de produção, a fim de garantir a continuidade do fluxo de trabalho das equipes. No método de pesquisa são apresentados o objeto de estudo, a forma como foi desenvolvido o modelo de simulação, bem como sua descrição, limitações e cenários simulados. O modelo leva em consideração aspectos relacionados ao fornecimento de materiais e busca servir de base para tomada de decisões na obra. Para desenvolver este trabalho, foram utilizados dados de fornecedores, bem como dados de produtividades e perdas na construção civil. Três cenários foram simulados, modificando-se a gestão de estoque e a compra de materiais. Nos cenários 1 e 2 os blocos da alvenaria são comprados a partir de uma ordem de compra quando o estoque atinge seu nível mínimo. A diferença entre os dois primeiros cenários consiste no fato de, no cenário 2, o gestor fazer o pedido levando em consideração o índice de perdas de material e a variabilidade no tempo de entrega do

fornecedor. Já no cenário 3, as chegadas de materiais na obra são pré-estabelecidas com base na estimativa da produção. Os resultados do estudo demonstraram que o cenário 2 foi o melhor, pois não faltaram blocos e a mão de obra não ficou ociosa. O modelo desenvolvido pode ser facilmente adaptado para outros tipos de materiais ou diferentes etapas e serviços da obra. Por fim, pode-se concluir que o uso de simulação de eventos discretos permite analisar o funcionamento de sistemas de produção e identificar possíveis problemas ou gargalos que poderiam vir a acontecer, servindo de base para a tomada de decisões.

Palavras-chave: Simulação da produção, Construção Civil, gestão de estoques

1. Introdução

Devido à natureza complexa e a variabilidade do produto da construção civil, suas incertezas e a interdependência em seus processos, torna-se essencial usar técnicas que auxiliem na tomada de decisões para a gestão de empreendimentos da construção civil (SCHRAMM; FORMOSO, 2007). Entretanto, as técnicas tradicionais de planejamento têm um potencial limitado para descrever e modelar os processos da construção civil. Estas técnicas, muitas vezes, inviabilizam fazer ajustes durante a produção, uma vez que restringem o balanceamento da capacidade e a alocação dos recursos. Nesse cenário de incertezas, perdas, fluxos e conversões, os modelos de simulação de eventos discretos possuem um amplo potencial (TOMMELEIN, 1997).

A simulação é uma técnica que utiliza computadores, para imitar ou simular operações e processos variados do mundo real em modelos, sendo uma das técnicas mais utilizadas em pesquisas de operações e gestão (LAW; KELTON, 1991). Nesse sentido, um modelo pode ser compreendido como uma representação de parte de uma realidade conhecida que um indivíduo deseja entender, mudar, gerenciar e controlar (PIDD, 1996).

No caso da construção civil, a simulação para sistemas de produção recebe pouca atenção, tanto pela comunidade acadêmica como pelo meio profissional (SCHRAMM; FORMOSO, 2015). Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto que variações na gestão de estoque e pedidos de compra possuem no tempo de entrega (*lead time*) da etapa de produção de alvenaria de vedação em empreendimentos de construção. Para isso foi desenvolvido um modelo de simulação e três diferentes cenários foram analisados.

O desenvolvimento dessa simulação se justifica dentre outros motivos pelo pouco uso da simulação na gestão de sistemas de produção na construção, tendo em vista a complexidade dos processos e conseqüentemente de sua modelagem (OLOUFA; IKEDA; NGUYEN, 1998; SANTOS, 2001) e o tempo necessário para a elaboração dos modelos, em função dessa complexidade (SHI; ABOURIZK, 1997). Do ponto de vista prático, este trabalho mostra um exemplo de simulação que considera alguns fatores que caracterizam a natureza dos sistemas de produção e assim, aprofunda-se o entendimento de projetos do sistema de produção qualquer que seja o setor produtivo.

2. Simulação de sistemas na construção civil

No campo da construção civil, Silva, Almeida e Ghisi (2017) afirmam que a simulação computacional é um instrumento eficaz para analisar e otimizar os diversos sistemas da edificação e permitir tomada de decisão em projeto. Prado (2006) define a simulação como uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema. Para Magableh (2007) a simulação pode ser usada para valorizar decisões, operações e ajudar nas decisões gerenciais visto que o conceito lógico do modelo se assemelha com o sistema real estudado.

Sobre a simulação por meio de um modelo, Meyers e Stephens (2005), apresentam duas características importantes: o dinamismo, uma vez que o comportamento do modelo é acompanhado através do tempo simulado e, segundo, a simulação é um evento estocástico em vez de determinístico. MacDonald e Strachan (2001) apresentam cinco fontes de incertezas em simulação a serem observadas: (a) realismo do modelo: quão bem o modelo representa a realidade; (b) variáveis de entrada: que valores se utilizam na falta de dados precisos; (c) processos estocásticos: como os processos tais como as projeções do clima, o uso de equipamentos e operação da edificação afetam os resultados; (d) recursos dos programas: que incertezas estão associadas às escolhas dos processos da simulação; (e) variações em projeto: qual o efeito de se modificar uma variável de projeto.

Na construção civil especificamente, um especialista em simulação tende a vê-la como modelos detalhados para previsão de alguns aspectos do desempenho de edificações (HAVES, 2004). Para Vida et al. (2014), compreender as particularidades da produção é necessário para melhorias e prevenir ou corrigir possíveis gargalos. Neste contexto, Schramm e Formoso (2015) propõe um modelo para a elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP) de empreendimentos de construção com o emprego da simulação de eventos discretos como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Estes autores destacam que o emprego da simulação permite testar diferentes cenários, incluindo, por exemplo, a análise de alternativas na organização do sistema de produção com relação a mudanças na estratégia de ataque do empreendimento, dimensionamento da capacidade dos recursos de produção e redistribuição de processos a esses recursos.

3. Método de pesquisa

No presente item são apresentados o objeto de estudo da pesquisa, a forma como foi desenvolvido o modelo de simulação, bem como sua descrição, limitações e cenários simulados.

3.1 Objeto de estudo

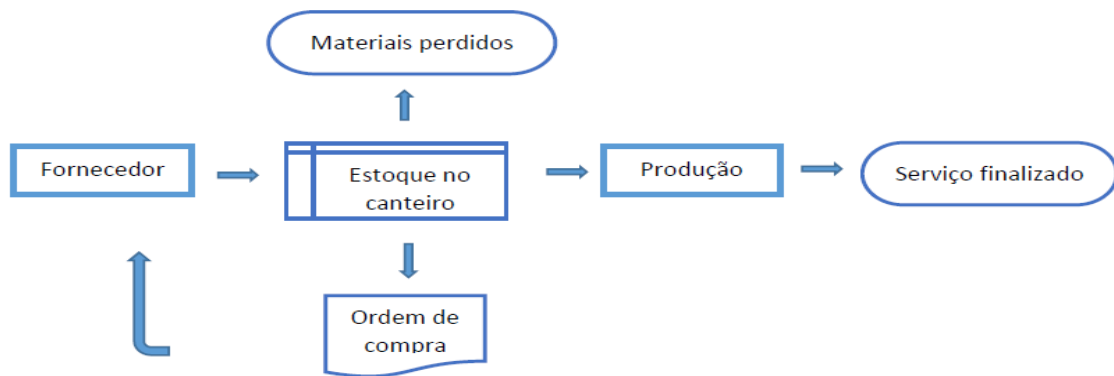
O objeto de estudo da pesquisa é o processo de gestão de estoque de blocos para execução de alvenaria de vedação. Para isso, o modelo leva em consideração aspectos relacionados ao fornecimento de materiais e busca servir de base para tomada de decisões na obra. Logo, auxilia gestores na definição de estoques de segurança para os seus sistemas de produção, a fim de garantir a continuidade do fluxo de trabalho das equipes. Para desenvolver este trabalho, foram utilizados dados de fornecedores, bem como dados de produtividades e perdas na construção civil.

3.2 Desenvolvimento do modelo de simulação

Para desenvolver a simulação, inicialmente houve a definição dos componentes relevantes à serem inseridos no modelo na tentativa de simular de maneira realística o que acontece no dia a dia da obra. Sendo assim, foram definidos os seguintes pontos: fornecimento de materiais; estoque de materiais no canteiro de obras; existência de perdas; e, definição da equipe de produção e sua produtividade. Nesta etapa do trabalho definiu-se o bloco cerâmico como a entidade principal do sistema.

Em síntese, na modelagem proposta, a entidade chega através do fornecedor e é armazenada no estoque até o momento da produção, quando é então transportada até as frentes de trabalho onde ocorre o assentamento do bloco. As perdas dos blocos ocorrem por diversos motivos, como quebra no transporte, furto, rejeito por baixa qualidade, quebras durante o assentamento, entre outros. Uma representação do fluxo do processo pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Fluxo da etapa de alvenaria



Fonte: elaborado pelos autores

O modelo foi desenvolvido com o software *ProModel Runtime Silver* versão 8.6.2.1037, disponibilizado gratuitamente para usos acadêmicos pela *ProModel Corporation*. O *ProModel* é um *software* de simulação de eventos discretos largamente utilizado para planejar, projetar e melhorar novos ou atuais processos de manufatura, logística, serviços e outros sistemas estratégicos, táticos ou operacionais.

3.3 Descrição do modelo e limitações

3.3.1 Descrição

O modelo foi elaborado com base na produção de alvenaria de uma edificação de 17 pavimentos. Com relação a descrição física desse modelo, buscou-se representar de maneira geral o percurso percorrido pelo bloco cerâmico desde sua entrega pelo fornecedor até o seu assentamento final. Em síntese, o modelo simulado é iniciado pelo fornecedor de blocos, o qual é responsável pela entrega dos blocos cerâmicos no estoque do canteiro de obras. A partir da existência do material bloco cerâmico em estoque, a atividade assentamento de blocos cerâmicos é iniciada, puxando a entidade para a frente de produção e iniciando o processo de execução. Foram consideradas as perdas do material bloco cerâmico decorrentes da existência de estoque e também devido ao processo de assentamento.

Os elementos de modelagem foram definidos e inseridos na seguinte ordem: inicialmente, os locais (fornecedor de blocos, estoque, produção, edifício e perdas); em um segundo momento, as entidades (bloco cerâmico e caminhão); em seguida foram introduzidas as chegadas; por conseguinte foram definidos os processos; e, por fim, foram criadas as variáveis.

3.3.2 Definições das variáveis e conjunto de regras do modelo

Na modelagem foram definidas quatro variáveis: (1) Variável_estoque; (2) Blocos_assentados; (3) Blocos_perdidos e (4) *Flag* (condição). A “Variável_estoque” está atrelada a um contador que mostra o número de blocos disponíveis no estoque. Foi criada para que, nos cenários 1 e 2, uma ordem de compra pudesse ser feita quando o estoque atingisse um número mínimo de blocos.

A variável “Blocos_assentados” também possui um contador que mostra o número de blocos que já foram utilizados, ou seja, que já passaram pela produção e agora constituem as paredes da edificação. Esta variável foi feita para que se soubesse quando a etapa de alvenaria da obra está concluída uma vez que se sabe o número total de blocos necessários. Desta forma, quando o contador da variável “Blocos_assentados” chega em um determinado valor, a simulação é finalizada.

Similarmente, a variável “Blocos_perdidos” apresenta um contador para o número de blocos que entraram no estoque, mas não foram usados na produção das alvenarias. Estes blocos constituem a perda de materiais da obra. Cada bloco que entra no estoque tem 78,74% de chance de ir para a produção e ser assentado e 21,26% de chance de ser perdido. Essa porcentagem representa um índice de perda de 27% (percentual de material adquirido em relação à quantidade teoricamente necessária). Os índices de perdas são expressos pela diferença, em termos percentuais, entre a quantidade de material adquirida e a quantidade teoricamente necessária, medida no projeto.

A quarta variável do modelo é a “Flag”. Esta variável assume os valores de 0 ou 1 e serve para controlar se o pedido de materiais foi feito e entregue nos cenários 1 e 2. Quando o estoque chega em seu nível mínimo, uma ordem de compra é feita ao fornecedor de blocos e “Flag” passa a ser 1, quando o pedido chega “Flag” volta a ser 0. Uma condição para que a ordem de compra seja feita é $Flag = 0$, desta forma um único pedido é realizado quando o estoque está abaixo do nível mínimo.

3.3.3 Coleta de dados

Em síntese, os dados utilizados na simulação são: a) Número total de blocos para finalizar a etapa de alvenaria de vedação da obra de acordo com o projeto; b) Número de trabalhadores na obra; c) Produtividade média de um trabalhador; d) Tempo médio de entrega de blocos na obra pelo fornecedor a partir da ordem de compra; e) Índice de perda de blocos cerâmicos em relação ao total de projeto; f) Nível de estoque mínimo para realização de pedidos nos

cenários 1 e 2; g) Quantidade de blocos entregues na obra por ordem de compra nos cenários 1 e 2 ou por chegada no cenário 3.

Os dados foram retirados de trabalhos científicos. De acordo com um estudo de caso realizado em cinco obras em Porto Alegre, encontrou-se que o índice de perdas total de blocos cerâmicos é de aproximadamente 27% (Formoso *et al.*, 1996). O índice de perdas está expresso pela diferença, em termos percentuais, entre a quantidade de material adquirida e a quantidade medida pelo projeto. Estas perdas são referentes a quebra no transporte, furto, rejeito por baixa qualidade, quebras no assentamento, entre outros.

O tempo necessário para assentar cada bloco, neste trabalho, será função da produtividade dos pedreiros. Segundo o estudo de Herculano (2010), a média de produtividade dos trabalhadores é de 1,15 Hh/m² com desvio padrão de 0,28 Hh/m². Estes valores servem como parâmetro para este estudo.

Conforme a base de dados TCPO (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos), para paredes de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos furados (9 x 19 x 19) cm, juntas de 12 mm com argamassa industrializada, utiliza-se 25,70 blocos/m² (Item 04211.8.2 – TCPO – pág. 204). Além dos dados apresentados retirados da literatura, considerou-se para este trabalho, uma edificação com 17 pavimentos, com 600 m² de alvenaria de vedação por pavimento, totalizando 10.200 m² de alvenaria.

Tomou-se como base também que na obra trabalham oito pedreiros, cinco dias por semana, com uma jornada de trabalho de oito horas por dia. Considerou-se que o pedido de materiais demora em média 2 dias (960 min) com um desvio padrão de meio dia (240 min) para ser entregue na obra, o que pode gerar atrasos dependendo do cenário. Estes valores representam o tempo médio de entrega dos blocos cerâmicos no mercado local.

O foco do trabalho não era a coleta de dados em obra, mas sim a modelagem em si. Sendo assim, apesar de os dados serem provenientes de diferentes trabalhos, esses são utilizados apenas como exemplo para rodar a simulação. Tais dados poderão ser alterados em estudos posteriores que utilizarem o modelo desenvolvido.

A partir da adoção e definição desses dados, foram necessárias algumas conversões para inseri-los na modelagem. Assim, calculou-se:

- Produtividade (m²/dia): 1,15 Hh/m² significa que em 1,15 horas, 1 m² é construído por um trabalhador. Logo, em 8 horas, 6,95 m² são construídos por um trabalhador. Considerando-se 8 trabalhadores, tem-se 55,60 m² construídos por dia.

- Número total de blocos para a obra: multiplicando 25,70 blocos/m² por 10.200 m², temos 262.140 blocos.
- Número de blocos cerâmicos necessários para estoque mínimo no, sem considerar o índice de perdas: como se utiliza 25,70 blocos/m² e constrói-se 55,60 m²/dia, o total de blocos cerâmicos utilizados por dia é de 1.430. Este será o valor do estoque para que seja feito um pedido no cenário 1, onde o pedido desconsidera o índice de perdas.
- Número de blocos cerâmicos necessários para estoque mínimo, considerando o índice de perdas de 27%: aqui consideramos a variabilidade do fornecedor (o qual entrega o material em até 2,5 dias), assim: 1.430 blocos/dia * 2,5 dias * 1,27 = 4.540 blocos.
- Tempo de assentamento de um bloco (min/bloco): de acordo com a produtividade de 1,15 Hh/m² e o desvio padrão de 0,28 Hh/m², produz-se 1.430 blocos/dia, ou seja, 1.430 blocos/480min, resultando em 0,33 min/blocos em média com desvio padrão de 0,08 min/bloco, já considerando a produtividade dos oito pedreiros.
- Representação do índice de perdas na modelagem: o índice de perdas de blocos cerâmicos é 27%, ou seja, para cada 100 blocos que são assentados, entram no sistema 127 blocos na obra. Para efeitos de simplificação da simulação, as perdas saem direto estoque, e correspondem então a 21,26% do total, e o utilizado na obra representa 78,74%.

3.3.4 Limitações

No modelo simulado, todos os blocos cerâmicos são considerados iguais. Restrições que pudessem interferir no assentamento da alvenaria de vedação, tais como, atividades precedentes, como, por exemplo, a execução das estruturas de concreto armado, não foram levadas em consideração. O início dos serviços de assentamento depende única e exclusivamente da existência de estoque do material bloco cerâmico na obra.

3.4 Cenários simulados

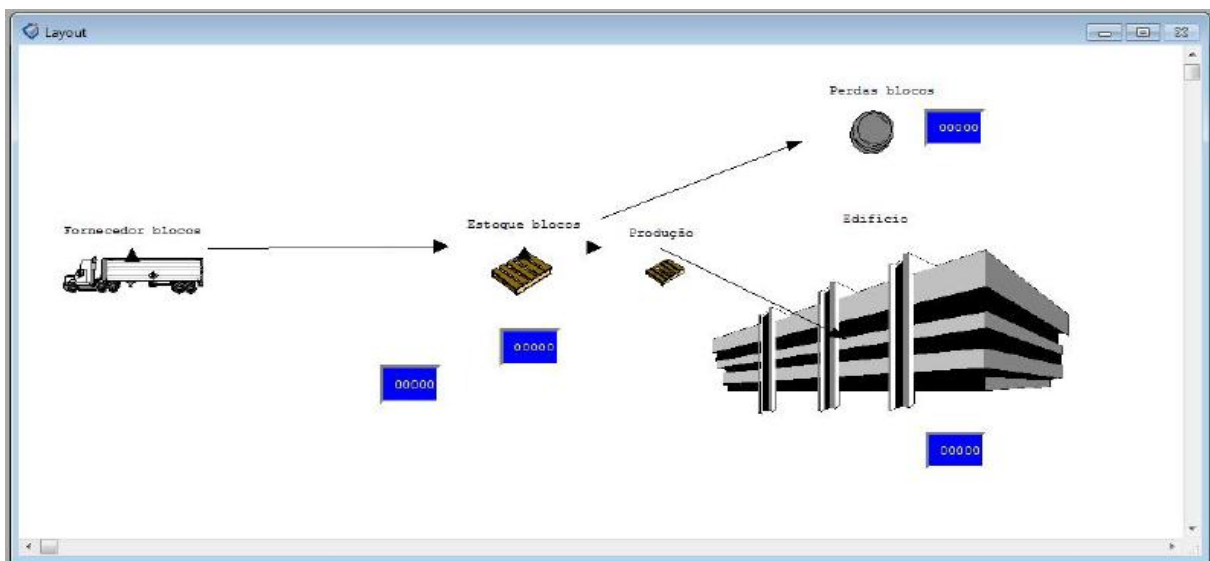
Os três cenários foram simulados modificando-se a gestão de estoque e a compra de materiais. Nos cenários 1 e 2 os blocos da alvenaria são comprados a partir de uma ordem de compra quando o estoque atinge seu nível mínimo. No cenário 3, as chegadas de materiais na obra são pré-estabelecidas com base na estimativa da produção.

No cenário 1, a simulação é iniciada com a chegada de 7.150 entidades (bloco cerâmico) no local *fornecedor blocos* onde estes são agrupados. Após um tempo médio de 960 min com desvio padrão de 240 min os blocos chegam no local *estoque blocos* onde os mesmos são

desagrupados. Neste mesmo instante da simulação, 21,26 % do total de blocos deste local são considerados como perdas e são, portanto, roteados para o local *perdas blocos*. Os 78,74 % remanescentes, são roteados um a um para o local *produção*.

Além disso, no cenário 1 há falta de blocos na obra, pois o nível mínimo de estoque e a quantidade de blocos entregues não foram dimensionados considerando as perdas e a variabilidade do sistema. A Figura 2 apresenta o modelo referido simulado no programa *ProModel*.

Figura 2 - Modelo simulado no *software ProModel* - Cenário 1



Fonte: elaborado pelos autores

A partir da *produção*, os blocos são deslocados até o local *edifício* onde os mesmos são assentados, levando um tempo médio 0,33 min com desvio padrão de 0,08 min por bloco. Para o caso do cenário 1, quando o número de blocos do local *estoque blocos* for menor que o estoque de segurança, neste caso definido como 1.430 blocos, um novo pedido de 7.150 blocos é realizado. Este pedido demora novamente um tempo médio de 960 min com desvio padrão de 240 min para ser entregue. A simulação é encerrada quando o número total de blocos assentados for igual a 262.140.

Já no cenário 2, a diferença existente em relação ao cenário 1 é basicamente o número total de blocos por pedido que passa a ser 9.100 e o número de blocos do estoque de segurança que passa a ser de 4.540. As demais características sobre o funcionamento do sistema são idênticas as do cenário 1.

Por fim, no cenário 3, não são realizados novos pedidos de acordo com o número de blocos que vão sendo utilizados na obra. Neste caso, é realizada a programação antecipada de 5

entregas de 66.000 blocos, espaçadas a cada 13.000 min. A simulação neste caso é iniciada com a chegada dos primeiros 66.000 blocos no local *fornecedor blocos* onde estes são agrupados. As demais características sobre o funcionamento do modelo, como porcentagem de perdas, produtividade, deslocamento da entidade dentro do sistema, etc., são idênticas a do cenário 1.

Para cada um dos cenários, foram feitas 5 replicações piloto, as quais geraram os seguintes intervalos de confiança para o tempo de execução da alvenaria: Cenário 1 - [1.800h 22min, 1.842h 13min]; Cenário 2 - [1.453h 28min, 1.461h 2min]; e Cenário 3 - [1.452h 37min, 1.458h 55min].

4. Resultados e análise do modelo

No cenário 1, demonstrou-se uma simulação onde o gestor faz o pedido apenas seguindo os dados do projeto e não leva em consideração as perdas de material, o que muitas vezes acontece no mundo real. Além disso, o gestor apenas faz o pedido de compra quando o estoque está muito baixo, não considerando o atraso do fornecedor.

Especificamente, este constitui o pior cenário simulado, ou seja, o que mais demorou para concluir a obra (Tempo médio: 1.833h 24min (11 meses 9 dias) com intervalo de confiança: 1.826h 27min, 1.840h 35min). O fato se deve a mão de obra ociosa por falta de material, uma vez que o tempo de entrega do fornecedor não foi considerado no dimensionamento do estoque mínimo. Além disso, o pedido dimensionado para uma semana também acabava antes, pois não se considerou o índice de perdas de material. Sendo assim, do tempo total para concluir o serviço, 376h 9min foram improdutivas, resultando em um índice de ociosidade de aproximadamente 20%.

No cenário 2, demonstrou-se uma situação onde o gestor faz o pedido levando em consideração o índice de perdas de material. O gestor apenas faz o pedido de material quando o estoque está baixo, mas considerando o tempo de entrega e possível atraso do fornecedor, para que então nunca falem blocos na obra. Este constitui o melhor cenário simulado, em que a obra foi concluída em menos tempo (Tempo médio: 1.457h 15min (9 meses 2 dias) com intervalo de confiança: 1.453h 28min, 1.461h 2min). Como se considerou as perdas e o tempo de entrega do fornecedor, não faltaram blocos na obra e a mão de obra nunca ficou ociosa.

Por fim, na simulação realizada no cenário 3, demonstra-se uma situação na qual faz-se o uso de um grande estoque e grandes pedidos. Dividiu-se o valor total necessário de blocos em 5 pedidos, considerando o índice de perdas. Como considerou-se as perdas e o tempo de entrega do próximo pedido, não faltou material e nem teve mão de obra ociosa. Este cenário

apresenta, praticamente, o mesmo tempo de simulação do Cenário 2 (Tempo: 1.455h 15min (9 meses 2 dias), com intervalo de confiança: 1.452h 37min, 1.458h 55min). Entretanto, não constitui uma boa opção devido aos altos custos de estoque. Este custo é representando pelo alto valor inicial investido em cada compra, alto valor de material parado, alto risco de furto e deterioração dos blocos.

5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo analisar o impacto que variações na gestão de estoque e pedidos de compra possuem no tempo de entrega da etapa de produção de alvenaria de vedação em empreendimentos de construção. Para isso foi desenvolvido um modelo de simulação e três diferentes cenários foram analisados. Pelos resultados do estudo, demonstrou-se que o cenário 2, onde o gestor faz o pedido levando em consideração o índice de perdas de material e dimensiona corretamente o estoque mínimo (levando em consideração a variabilidade no tempo de entrega do fornecedor) foi o melhor, pois não faltaram blocos e a mão de obra não ficou ociosa.

Esta parece ser a estratégia mais adequada para a gestão do estoque e para a realização de pedidos no presente caso e deve, portanto, fazer parte do projeto do sistema de produção. Vale ressaltar, porém, que estas definições são apenas alguns dos aspectos que devem ser levados em consideração no projeto de sistemas de produção.

Pode-se argumentar ainda que o modelo desenvolvido pode ser facilmente adaptado para outros tipos de materiais ou diferentes etapas e serviços da obra. Por fim, pode-se concluir que o uso de simulação de eventos discretos permite analisar o funcionamento de sistemas de produção e identificar possíveis problemas ou gargalos que poderiam vir a acontecer, servindo de base para a tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

FORMOSO, C.T., *et al.* **As perdas na construção civil**: conceitos, classificação e seu papel na melhoria do setor. Porto Alegre: NORIE/UFGRS, 1996.

HAVES, P. New Tools for Building Simulation. **Anais...** congresso de ar condicionado, refrigeração, aquecimento e ventilação do Mercosul, Curitiba, **2004**.

HERCULANO, M. T. **Produtividade em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos**: análise comparativa. Monografia (Graduação), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

LAW, A. M.; KELTON, D. W. **Simulation modeling & Analysis**. Singapore, 1991.

MACDONALD, I. A.; STRACHAN, P. Practical Application of Uncertainty Analysis. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 3, p. 219-227, 2001.

MAGABLEH, G. M.; **A Dynamic Replenishment System for Integrating Supply Chain functions**. *Maritime Economics & Logistics*, v.9, n.1, p. 52-66, 2007.

MEYERS, F. E.; STEPHENS, M. P.; **Manufacturing facilities design and material handling**. 3ed. New Jersey. Prentice Hall, 2005.

OLOUFA, A. A.; IKEDA, M.; NGUYEN, T. Resource-Based Simulation Libraries for Construction. **Automation in Construction**, v. 7, p. 315-326, 1998.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1996.

PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação**. 3 ed. Belo Horizonte, 2006. 127 p.

SANTOS, R. B. **Avaliação da Aplicação da Teoria das Restrições no Processo de Planejamento e Controle da Produção de Obras de Edificação**. Porto Alegre, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Uso de simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil. **Anais do terceiro encontro de tecnologia de informação e comunicação na construção civil**. 2007.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 165-182, 2015.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. L. S.; GHISI, E. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 289-303, 2017.

SHI, J. J.; ABOURIZK, S. M. Resource-Based Modeling for Construction Simulation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 123, n. 1, p. 26-33, mar. 1997.

TCPO 2014. Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 14 ed. São Paulo: Pini, 2012.

TOMMELEIN, I. D. Discrete-event Simulation of Lean Construction Processes. **Proceedings of the Fifth Conference of the International Group of Lean Construction IGLC5**, p. 121-136, 1997.

VIDA, L.; MONTEVICH, J. A. B.; LIMA, J. P. Análise de uma linha de montagem de uma indústria de eletrodomésticos por meio da simulação a eventos discretos. **Anais... ENEGEP**, Curitiba, Paraná, 2014.