

Aplicação da dinâmica de sistemas na gestão de processos de construção civil – utilização do software vensim**Application of systems dynamics in the management of civil construction processes - use of Vensim software**

DOI:10.34117/bjdv5n7-025

Recebimento dos originais:01/05/2019

Aceitação para publicação: 12/06/2019

Gabriela Oliveira Bernardo

Bacharel em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário UNA - Campus Barreiro
Instituição: Centro Universitário UNA - Campus Barreiro
Endereço: Avenida Afonso Vaz de Melo, 465 - Barreiro, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: gabiobernardo@gmail.com

José Ronaldo Tavares Santos

Mestre em Engenharia em Gestão de Processos e Sistemas pelo IETEC - Instituto de Educação Tecnológica
Instituição: Centro Universitário UNA - Campus Barreiro
Endereço: Avenida Afonso Vaz de Melo, 465 - Barreiro, Belo Horizonte – MG, Brasil
E-mail: jose.tavares@prof.una.br

Cleiton Geraldo Mendes Miranda

Mestre em Educação Tecnológica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG
Licenciatura Plena em Matemática pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas
Instituição: Centro Universitário UNA – Unidade Acadêmica Itabira
Endereço: Rua Sizenando de Barros, 27, Centro, Itabira - MG, Brasil
E-mail: cleiton.miranda@una.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo propor a utilização da metodologia Dinâmica de Sistemas na simulação de processos oferecendo uma alternativa de gerenciamento da construção civil em um estudo de caso através da análise da situação do modelo de gestão atual e suas dificuldades, partindo da hipótese de tratar-se de um processo de sistema dinâmico com relação de causa e efeito, retroalimentações, fluxos entre as variáveis e atrasos. A ineficiente execução dos projetos de construção pode resultar em prejuízos ambientais e econômicos, afetando a competitividade e a qualidade de vida. O modelo mostrou-se satisfatório ao objetivo proposto, apresentando resultados significativos e satisfatórios nas simulações do processo de gestão do estudo de caso

Palavras-chave: Dinâmica de sistemas, processos de construção civil, modelagem, simulação.

ABSTRACT

The purpose of this article is to propose the use of the Dynamics of Systems methodology in the simulation of processes offering an alternative of management of the construction in a case study through the analysis of the situation of the current management model and its difficulties, it is based on a dynamic system process with cause and effect relationship, feedbacks, flows between variables and delays. The inefficient execution of construction projects can result in environmental and economic damage, affecting competitiveness and quality of life. The model was satisfactory to the proposed objective, presenting significant and satisfactory results in the simulations of the case study management process

Keywords: Dynamics of systems, civil construction processes, modeling, simulation.

1 INTRODUÇÃO

O atraso em obras de construção civil é um problema frequente no Brasil e em países em desenvolvimento devido a situações influenciadas por vários fatores ao longo das etapas da obra. Reis et al (2016), afirma que essa realidade é presente em praticamente todas as construções do país. Dentre os fatores identificados pelo autor que contribuem para os atrasos nas construções, pode ser citado o retrabalho devido a erros de execução, a entrega de materiais fora do prazo e o baixo compromisso e produtividade da mão de obra. Reis et al (2016), acrescenta que a maioria das causas de atrasos estão ligadas a gestão da obra, indicando a necessidade de um planejamento mais consistente que visa uma análise ao longo e médio prazo, minimizando a ocorrência dos fatores que oferecem risco a evolução satisfatória dos projetos.

Durante seu desenvolvimento, os projetos de construção estão sujeitos a pausas por motivos diversos, que podem estar relacionados com as atividades de fluxo de trabalho e a divisão dos tempos praticados na obra. Devido a estas interrupções, pode surgir a necessidade de realocação de recursos e o aumento do prazo de produção (SANTOS, 2004).

Santos (2004), ainda cita que os tempos produtivos praticados em obra correspondem a 33% do total demandado pela mão de obra em canteiro e são responsáveis pelas atividades de conversão desenvolvidas pelos operários. O tempo restante é dividido entre atividades auxiliares e improdutivas, com aproximadamente 33% cada uma. Os números variam de acordo com o empreendimento devido às necessidades de pausas dos operários e do tempo gasto pela preparação para desenvolvimento de algumas atividades. Visando à melhoria contínua no setor de construção, buscam-se processos racionalizados e padronizados. Para isso é necessário identificar atividades de fluxo que minimizem ou até mesmo eliminem os tempos que não agregam valor ao produto.

Santos (2004) também relacionam as diferenças entre a construção civil e a manufatura. A manufatura apresenta processos necessários ao desenvolvimento de um produto como, por exemplo, dobrar, furar e cortar. A construção civil possui foco nos operários e os processos são definidos de acordo com a necessidade das equipes para continuidade na execução de um produto. Os projetos são exclusivos e de curta duração; as estações de trabalho (canteiros) são mutáveis e o trabalho é realizado em ambiente externo sujeito às mudanças do clima. Algumas ferramentas utilizadas são difíceis de manusear; o layout é provisório e o proprietário se envolve mais no processo, diferenciando-se da manufatura. Contrapondo-se a manufatura, o processo de construção civil tem pouca repetição e poucas mudanças, além de não possuir muitos registros de métodos de trabalho e dados de produtividade. A falta de informação pode gerar incertezas como erros na interface projeto/execução, especificações técnicas falhas, orçamento fora do alcance da empresa, problemas entre empresa e fornecedores.

A ineficiente execução dos projetos de construção pode resultar em prejuízos ambientais e econômicos, afetando a competitividade e a qualidade de vida. Com essa afirmativa, Araújo (2002), aponta para uma nova realidade na construção civil, na busca pela sobrevivência num mercado mais competitivo e exigente em relação à qualidade das obras, dos materiais e projetos. Diante disso, a melhoria na eficiência do processo de construção é vista como uma estratégia de negócios.

Tendo em vista a eficiência dos processos de construção e a satisfatória utilização do tempo total de produção, é proposta a utilização de uma metodologia complexa e multidisciplinar baseada no princípio da dinâmica de sistemas, empregando a modelagem computacional, estabelecendo relações causais entre variáveis relevantes, considerando características como análise de variáveis e tomadas de decisão e, assim, oferecer uma ferramenta alternativa para o gerenciamento de processos de construção civil (GALARZA et al, 2015).

Desta forma, o objetivo deste artigo é propor o desenvolvimento de um modelo de sistema dinâmico, utilizando o software *Vensim*, aplicado em um projeto de construção civil na região de Sarzedo/MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O setor de construção civil no Brasil, com o aumento da competitividade, a redução das margens de lucro e alta exigência em relação ao produto final, necessita de constantes

melhorias no sistema de produção. Os atrasos nas obras interferem na concorrência e eficiência do projeto onde o controle e a ausência de atrasos apresentam-se como avaliadores de nível de desempenho (ARAÚJO, 2002).

Ao longo dos anos, profissionais estudiosos do tema têm dividido as causas dos atrasos de acordo com sua origem. Geralmente são: atrasos relacionados com os donos das obras; com os empreiteiros; com o contrato; com o projeto; com a fiscalização; com as relações institucionais; com a mão de obra; com os equipamentos; com os materiais; com fatores externos. Os atrasos na construção podem ocasionar o aumento do tempo da duração da obra; problemas com orçamento devido ao ônus para reduzir o atraso; aumento com custos relacionados a material para conseguir insumo mais rápido; maiores gastos com pagamento de funcionários com o aumento do prazo da obra; aplicação de multas, desentendimento entre as partes interessadas; gestão complexa e má imagem do empreiteiro (RESENDE, 2013).

O índice de absenteísmo (ausência do trabalho por motivo justificado ou não) dos funcionários afeta diretamente no andamento da construção, assim como a presença no trabalho sem as devidas condições de realizar suas tarefas por razões diversas. O índice de absenteísmo considerado aceitável é de 2%. As faltas podem ocorrer por motivos de doenças ou até mesmo por fatores psicossociais que podem ocasionar problemas sistemáticos sobrecarregando os demais funcionários da equipe e gerando atrasos nas atividades. Os trabalhadores ausentes podem ter reduções de salário ou até mesmo demissão pela quebra do ritmo da produção (SESI, 2012).

Araújo (2002) defende que a resultante do planejamento e gerenciamento de uma obra é a qualidade. O processo de construção civil abrange diversas etapas desenvolvidas com a realização de diversos serviços. São elas: locação da obra; fundações; estruturas; alvenaria de vedação; instalações hidráulicas; instalações elétricas; impermeabilização; esquadrias; revestimentos internos e externos; pintura; forros; coberturas e limpeza. Nota-se que as etapas devem ser incluídas em qualquer plano de melhoria de empreendimentos urbanos.

2.1 SISTEMAS

Para Garcia (2009), sistema é um conjunto de elementos independentes em interação de forma estável onde qualquer alteração em qualquer elemento afeta todo o conjunto. Para compreensão do comportamento de um sistema é necessário definir primeiro seus elementos constitutivos e as relações entre eles. Para o autor, é importante a diferenciação entre dois tipos de modelos: de previsão, que, em oposição aos modelos de gestão onde a decisão é

entre a opção x e y, são projetados para apresentar informações precisas do status futuro do sistema modelado. E os modelos de gestão que, por possuir comparações de igual utilidade não exige total precisão. Este é o tipo de modelo de dinâmica de sistemas.

2.2 DINÂMICA DE SISTEMAS E MODELAGEM DE PROBLEMAS COMPLEXOS

Proposta por Jay W. Forrester em 1961, com a perspectiva de lidar com interações em sistemas dinâmicos. Desde então a Dinâmica de Sistemas vem se configurando como uma disciplina com aplicações que podem ser destacadas: Modelagem de complexidades biológicas e médicas; Energia e ambiente; Desenvolvimento de teorias nas ciências sociais e naturais; Tomadas de decisões dinâmicas; Dinâmicas não-lineares e complexas. A modelagem na Dinâmica de Sistemas é interdisciplinar por ser necessário utilizar todo o conhecimento e experiência para desenvolver a tarefa proposta (CHAIM, 2011).

Dinâmica de sistemas é uma metodologia utilizada para entendimento e modelagem de alguns problemas complexos onde mecanismos de realimentação, ou feedback, são elementos de funcionamento fundamentais para o sistema. O foco da modelagem de um sistema dinâmico são as relações de causa e efeito entre as variáveis ou elementos. A base dos modelos de sistemas dinâmicos são as retroalimentações. (CHWIF, L.; MEDINA, A. C., 2014).

A técnica de desenvolvimento de um modelo, do ponto de vista da Dinâmica de Sistemas, é utilizada através da evolução histórica das variáveis declaradas independentes e da aplicação da estatística para determinação dos parâmetros do conjunto de equações ligando entre si as variáveis independentes. Assim, é estabelecido o comportamento do sistema desconsiderando informações do seu funcionamento interno. O objetivo desta técnica é compreender as causas

estruturais do desempenho de um sistema avaliando como as ações e reações em diferentes partes aumentam ou diminuem as relações de comportamento. A análise da lógica do modelo e suas relações estruturais são as questões principais da sua construção. Ajustar o modelo de acordo com dados históricos tem importância secundária (GARCIA, 2009).

O comportamento geral do sistema pode ser analisado com auxílio da simulação computacional com o uso do diagrama de loop causal (CLD) na identificação dos parâmetros e da relação entre as variáveis e o diagrama de fluxo pode facilmente explicar o sistema complicado. A dinâmica de sistemas pode ser aplicada em vários campos de estudos

diferentes e variam de tomada de decisão, software, planejamento e gerenciamento de projetos (GOH et al., 2014).

2.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O software usualmente utilizado para simulação dos processos contínuos e dinâmicos é o *Vensim*®, desenvolvido por *Ventana Systems* e é utilizado na resolução de problemas de gestão. Tem como vantagem a possibilidade de ser programado em qualquer linguagem de programação (função externa) e oferece a possibilidade de importar modelos desenvolvidos em outros softwares usados na modelagem e simulação (RISTIC *et al.*, 2016).

2.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo de sistemas dinâmicos acontece seguindo as etapas: criação de um diagrama causal (ou de laços causais); criação de um diagrama de estoque e fluxo; definição das equações, dos parâmetros e dos valores iniciais que regem o sistema (CHWIF, L.; MEDINA, A. C., 2014).

3 DIAGRAMAS DE LAÇOS CAUSAIS

O diagrama ilustra as relações entre as variáveis do processo auxiliando no entendimento das interações. De acordo com Chwif, L.; Medina, A. C., (2014), um diagrama causal é uma representação de arcos representando as relações entre as variáveis e nós, que simbolizam as variáveis do sistema. O arco pode ser positivo ou negativo seguindo os seguintes critérios: se o crescimento de uma variável causar crescimento ou vice-versa, o arco é positivo; se o crescimento da variável causar diminuição de outra ou vice-versa, o arco é negativo.

O conjunto de elementos relacionados a um problema e suas relações forma o sistema, que é representado pelo diagrama causal. Quando as relações formam uma cadeia fechada é chamada de *loop* ou *loop* de *feedback*, que podem ser positivos ou negativos. Um *loop* é positivo quando o número de relações positivas é par. Se for ímpar, o *loop* é negativo, agindo como elemento de estabilização do sistema, que tem como característica o cumprimento de metas (GARCIA, 2009).

Permitindo a representação qualitativa do sistema, o diagrama causal é constituído por: variáveis, são partes ou componentes do sistema; relacionamentos, que representa a influência de uma variável em outra; qualificação dos relacionamentos, aumento ou

diminuição de uma variável em relação à outra. Normalmente, os relacionamentos entre as variáveis não são lineares, formando relações de causa e efeito (CHAIM, 2011).

3.1 DIAGRAMAS DE FLUXO

O Diagrama de fluxo, ou Diagrama de Forrester, é a tradução, em equações do diagrama de laços causais, ou a representação quantitativa das relações de causa e efeito. Nesta etapa do modelo as regras são flexíveis em relação a reclassificação dos elementos do sistema. No entanto, existe uma forma geral de construção da linguagem computacional que são: identificar e construir uma imagem mental dos elementos do sistema, formando um estoque. Classificar os elementos que proporciona a interação do estoque com suas respectivas grandezas (km, m², etc.), formando os fluxos do modelo. As variáveis restantes são auxiliares (GARCIA, 2009).

Chaim (2011), afirma que qualquer sistema pode ser descrito em um diagrama de fluxo dentro da concepção da dinâmica de sistemas. A linguagem é composta dos elementos: (1) estoques: são as acumulações de um recurso; (2) fluxos: movimento de informação e material dentro do sistema produzindo aumento ou diminuição dos estoques; (3) auxiliares: conversores ou

constantes para realização de operações algébricas; (4) conectores: *links* de descrição da relação entre estoque fluxo e variáveis.

4 METODOLOGIA

O presente projeto de pesquisa é de natureza aplicada e tem como forma de abordagem qualitativa. A pesquisa bibliográfica possui fins metodológicos e descritivos e tem como meio de análise a aplicação da Dinâmica de Sistemas.

Para tal, foi feito um levantamento teórico do tema e a aplicação da dinâmica de sistemas em um estudo de caso. Foi escolhido um projeto de construção civil desenvolvido por construtor independente, a fim de se obter uma visão geral da situação da obra e suas dificuldades de produção em relação ao tempo de execução dos processos de construção, partindo da hipótese do processo tratar-se de um sistema dinâmico com relações de causa e efeito, retroalimentações, fluxos entre suas variáveis e atrasos nesses fluxos.

Para obtenção dos dados da obra foi utilizado como instrumento a entrevista como fonte primária e complementada por dados históricos do processo de construção. As informações obtidas foram através de pesquisa empírica, buscando os valores médios referentes a cada

atividade desenvolvida dentro das etapas de construção. A partir do histórico da obra e dos dados obtidos, foi definido, durante a análise das informações do fluxo da construção, um processo composto de cinco etapas e 36 atividades. Neste estudo, serão consideradas as etapas 2, 3 e 4, e suas atividades: Base da edificação (terraplanagem, estrutura, muros e piso grosso), Construção (alvenaria, cintamento e laje, construção de escadas e segundo pavimento, instalação de caixas d'água, aplicação de mantas, instalação hidráulica, instalação de caixas e condutores elétricos, instalação de marcos de portas, reboco por fora, reboco por dentro, instalação de redes de luz, emboçamento e instalação das soleiras) e Acabamento (contra piso e cerâmica, instalação de lavabos e bacias, instalação de vidros, portas, pintura interna e externa, instalação dos portões, construção de áreas permeáveis e padrões de luz individuais), respectivamente. Essas etapas apresentam maior relevância no processo em relação ao tempo de construção e índice de absenteísmo.

Partindo das informações obtidas na obra, conforme descrito acima, foi desenvolvida uma tabela de dados, sendo considerados os seguintes parâmetros (ASSUMPCÃO, J.; JR. J., 1996):

Indicadores como custos médios de construção - R\$/m² de área construída;

Produtividade da mão de obra – Homens hora/m² de área construída;

Além disso, foram realizados os cálculos para obtenção dos dados de entrada:

Mão de obra disponível (HH) = [Quantidade de trabalhadores fixos e terceirizados * Custo da hora de trabalho * Tempo gasto por atividade];

Homem Hora trabalhado (HH) = [Quantidade de trabalhadores fixos e terceirizados * Tempo médio para realização da atividade – Absenteísmo dos trabalhadores fixos e terceirizados];

% de Ocupação = [Homem Hora trabalhado (HH) / Mão de obra disponível (HH)].

Os dados obtidos relacionados à obra foram analisados, calculados e tratados, sendo aplicados em um modelo através do programa de simulação Vensim-PLE *Versão 6.3*, que permite conceituar, documentar, simular, analisar e otimizar modelos de sistemas dinâmicos (CHAIM, 2011).

A partir do teste de comportamento do modelo com a realidade do processo, foram sugeridas políticas de gerenciamento da obra considerando a diminuição do tempo total gasto com as atividades do processo e dos custos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS DADOS

Partindo das entrevistas, do levantamento de dados da obra, dos cálculos e das análises, a Tabela 1 resume os valores encontrados para definição dos parâmetros e variáveis-chave para construção do modelo.

5.2 DIAGRAMA CAUSAL

Estabelecidas as condições iniciais do problema o Diagrama de laços causais ilustra a dinâmica do sistema, conforme Figura 1. As marcações diferenciadas representam o foco do diagrama de fluxo onde será estudado o processo voltado para as relações das etapas de Base da edificação, Construção e Acabamento e sua relação direta com o tempo de duração da obra.

5.3 DIAGRAMA DE FLUXO

O diagrama de fluxo desenvolvido para o caso estudado é representado na Figura 2, como o modelo chave de solução e análise do processo.

As descrições das variáveis do diagrama de fluxo com suas respectivas equações estão no Anexo A.

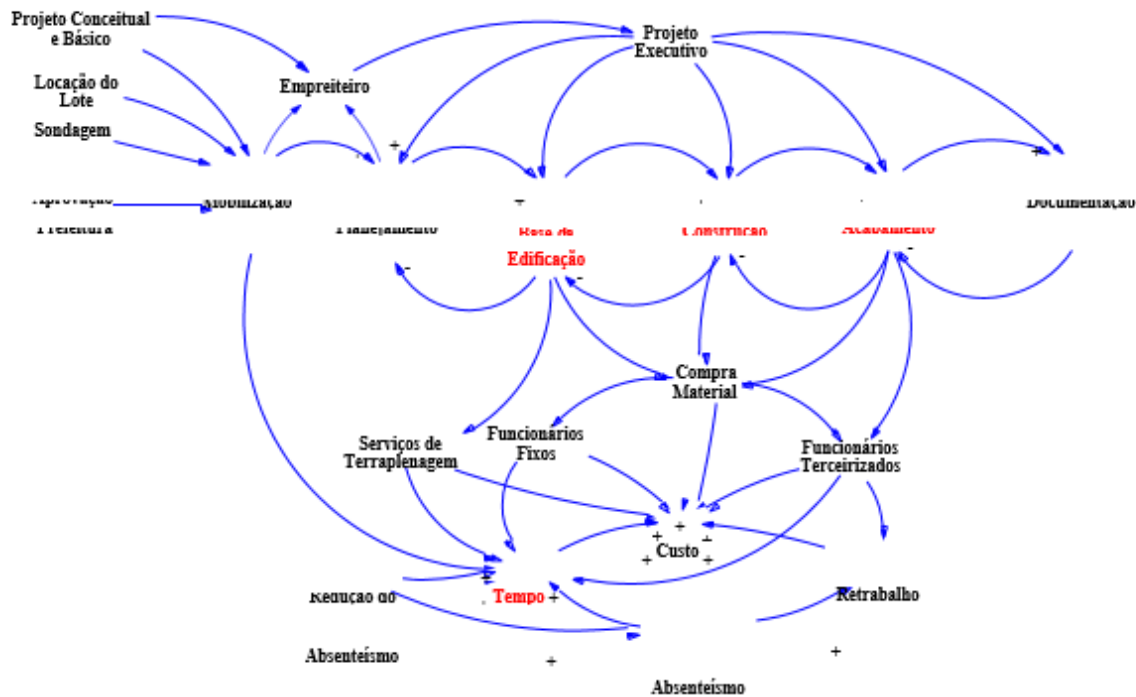
Tabela 1 – Dados das etapas da construção

Parâmetros	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Total
Período Médio das Atividades (dias).	50,0	168,0	136,0	354,0
Tempo Médio para Realização (h)	293,3	985,5	797,8	2.076,7
Mão de Obra Trabalhada (HH)	1.290,7	4.933,5	4.335,5	10.559,7
Mão de Obra Disponível (HH)	2.074,0	7.777,4	6.542,9	16.394,3
% de Ocupação	62%	63%	66%	64%
Quantidade de Trabalhadores Fixos	5	5	5	5

por Etapa				
Quantidade de Trabalhadores Terceirizados por Etapa	1	11	5	17
Absenteísmo dos Trabalhadores Fixos (HH)	164,2	469,5	187,6	821,3
Absenteísmo dos Trabalhadores Terceirizados (HH)	23,4	140,7	140,8	304,9
Média de Homem Horas Trabalhados por dia (HH/dia)	26%	29%	32%	29%
Percentual de Progresso das Atividades	14%	47%	38%	100%
Taxa de Progresso (% / dia)	0,28	0,28	0,28	0,28

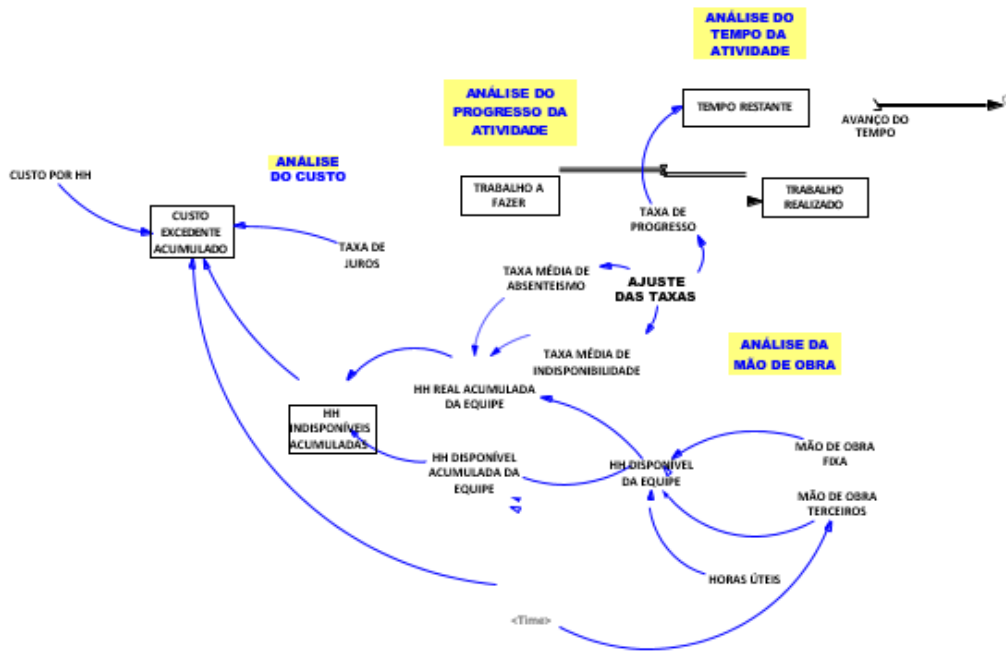
Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Figura 1 – Diagrama causal – processos da construção civil



Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Figura 2 – Diagrama de fluxo processo de construção civil

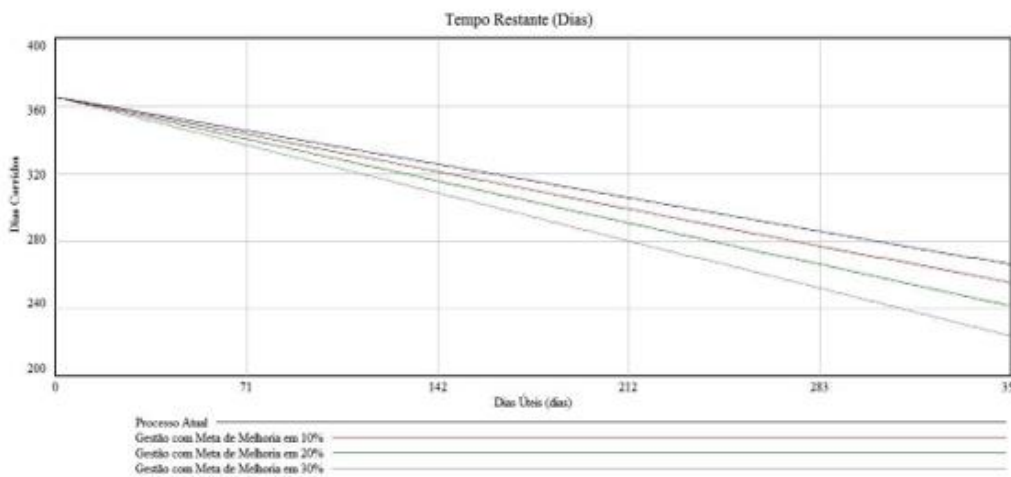


Fonte: Elaborado pela autora, 2017

5.4 RESULTADOS GRÁFICOS DO MODELO SIMULADO

As Figuras 3 a 5 ilustram os resultados do processo atual e após aplicação de taxas de gestão de melhorias das atividades do processo de construção.

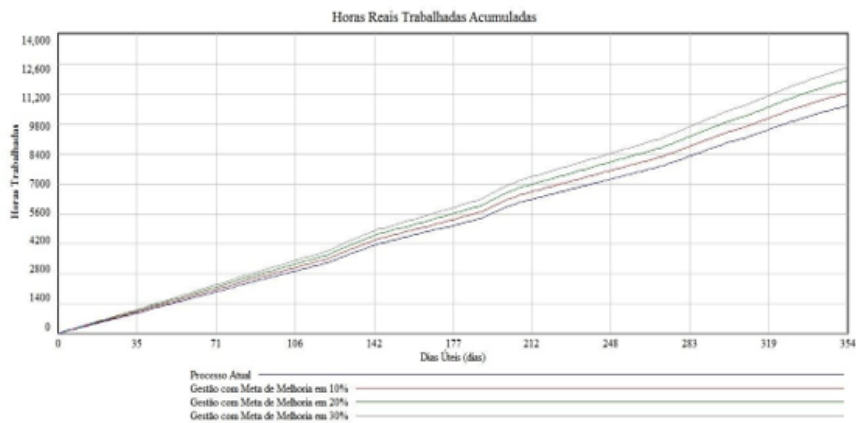
Figura 3 – Tempo restante de execução das etapas da obra



Fonte: Elaborado pela autora, 2017

A Figura 3 ilustra os diferentes comportamentos do modelo simulado em diferentes condições. O processo atual é o que apresenta maior atraso de conclusão das atividades, ultrapassando 250 dias corridos para o término do processo no prazo simulado. Os processos com gestão de melhoria aplicada demonstram a melhoria na quantidade de dias de atraso. O processo com meta de 30% de melhoria apresentou o menor tempo restante de conclusão das atividades, com valor igual a 220 dias, ou seja, 30 dias corridos de antecipação.

Figura 4 – Horas Reais Acumuladas

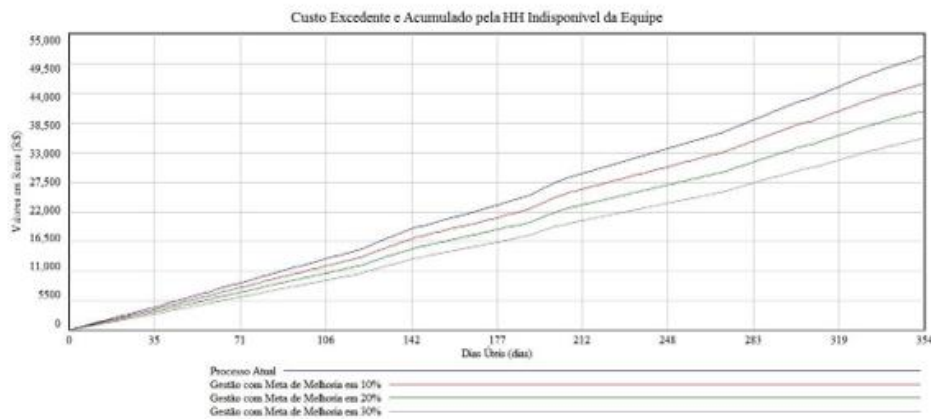


Fonte: Elaborado pela autora, 2017

De acordo com a figura 4, o processo atual apresenta menor tempo de trabalho real acumulado, com valor aproximado igual a 10.500 Horas Trabalhadas. O processo melhora gradativamente com a aplicação das taxas de melhoria na gestão. Sendo assim, a maior taxa de melhoria (30%) apresenta o melhor resultado tempo trabalhado, com valor aproximado igual a 12.500 Horas trabalhadas, ou seja, um aumento substancial de 2.000 Horas de Trabalho.

O custo excedente com o atraso da obra pode ser observado na Figura 5 com valor superior a R\$ 49.500,00. Valor muito acima de quando aplicados os índices de melhoria. O custo excedente, efeito do atraso da obra, poderia ser empregado em outras receitas, caso o dono da obra optasse por gerir o processo buscando o melhor processo.

Figura 5 – Custo excedente acumulado por Homem Hora indisponível



Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Aplicando-se a taxa de melhoria gradativa de 10 à 30%, é possível verificar no gráfico da Figura 5, que o valor pode reduzir para R\$ 35.000,00, ou seja, uma redução de custo aproximada de 29,3% no final do empreendimento.

6 CONCLUSÕES

O modelo mostrou-se satisfatório ao objetivo proposto, apresentando resultados significativos e satisfatórios nas simulações do processo de gestão do estudo de caso. Evidenciando pontos de melhoria na gestão atual e mostrando retornos positivos ao aplicar gestão nas atividades apresentadas.

A aplicação da dinâmica de sistemas na gestão dos processos de construção favoreceu na avaliação do sistema e obtenção de resultados considerando as relações de causa e efeito. Através do uso da metodologia pode-se descobrir os períodos instáveis do sistema e obter os limites do problema e trata-los.

A solução adequada para os problemas dos processos de construção pode não ser tão simples de ser encontrada, devido ao alto número de variáveis envolvidas numa obra. Mas, após a compreensão das causas e consequências, foi possível modelar a melhoria da eficiência do processo e a produtividade do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A.F., **A Aplicação da Metodologia de Produção Mais Limpa: Estudo em Uma Empresa do Setor de Construção Civil**. UFSC. Florianópolis, SC, 2002.

ASSUMPCÃO, J. F. P.; JR. J. R. L. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1996. 37p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/173).

CHAIM, R. M., **Modelagem, Simulação e Dinâmica de Sistemas**. Gestão da Segurança da Informação e Comunicações. CEGSIC. V 1.1. 2011.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 4ª edição. São Paulo: Elsevier Brasil, 2014. 320 p.

GALARZA, L.H.W.; GOMEZ, S.T.R.; GARCEZ, E.O.; CORREA, E.C.; PORRAS, A.C.; FORERO, I.H.

Modelo dinâmico de sistemas para o gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Porto Alegre: estudo de caso. Eng Sanit Ambient. v.20 n.3.jul/set 2015. 463-474.

GARCÍA. J. M. **Theory and Practical Exercises of System Dynamics**. 6 ed. Barcelona - Spain. 2009. 294 p.

GOH, H. H. *et al.* Renewable energy project: Project management, challenges and risk. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 18, p. 917-932, jul. 2014.

MOTTA, S.R.F.; AGUILAR, M.T.P., **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações**. Gestão e Tecnologia de Projetos. Vol.4, n.1. MG. 2009.

RESENDE, C.C.R., **Atrasos de Obra Devido a Problemas no Gerenciamento**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

REIS, C. J. L.; SEIXAS, R. D. M.; SILVA, G. B. D.; MAUÉS, L. M. F.; DUARTE, A. A.A. **M. Identificação das Causas de Atrasos de Obras: Um Estudo de Caso na Região Metropolitana de Belém**. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. SP. 2016.

RISTIC, O.; IRICANIN, B. D.; MIJAILOVIC, V. **Dynamic Modeling and Simulation of Power Transformer Maintenance Costs**. Serbian journal of electrical engineering. Vol. 13, No. 2, June 2016, 285-299.

SANTOS, D.G., **Modelo de Gestão de Processos na Construção Civil para Identificação de Atividades Facilitadoras**. UFSC. Florianópolis, SC. 2004.

SESI E O DESENVOLVIMENTOSUSTENTÁVEL. **Serviço Social da Indústria**. Departamento Nacional. Brasília. SESI/DN, 2012.

ANEXO A

Descrição das Equações do Modelo

- Trabalho a fazer (unidade) = INTEGRAL (-Taxa de progresso) _ valor inicial: 100.
- Taxa de progresso = 0.28/Ajuste das taxas _ variável auxiliar
- Trabalho realizado (unidade) = INTEGRAL (Taxa de progresso * Trabalho realizado)
_ valor inicial: 0
- Tempo restante (dia) = INTEGRAL (-Taxa de progresso) _ valor inicial: avanço do tempo.
- Custo excedente acumulado (R\$*HH) = (Custo por HH * HH indisponíveis acumuladas) * (1+(Taxa de juros * Time)) _ variável auxiliar
- Custo por HH (R\$*HH) = 8 _ constante
- Taxa de juros (%) = (% / 100) / 22 _ variável auxiliar
- Avanço do tempo (dia) = 365 _ constante
- HH indisponíveis acumuladas (HH) = (HH disponível acumulada da equipe

- HH real acumulada da equipe) _ variável auxiliar
- HH disponível acumulada da equipe (HH) = INTEGRAL (HH disponível da equipe) _ valor inicial: 0
- HH disponível da equipe (HH) = (Horas úteis * (Mão de obra fixa + Mão de obra terceiros) _ variável auxiliar
- HH real acumulada da equipe (HH) = INTEGRAL (1 - ((Taxa média de absenteísmo + Taxa média de indisponibilidade) / 100)) * HH disponível da equipe) _ valor inicial: 0
- Horas úteis (R\$*H) = 8.23 _ constante
- Mão de obra fixa (unidade) = 5 _ constante
- Mão de obra terceiros (unidade) = WITH LOOKUP (Time) _ variável auxiliar
- Look up time:
 - o [(0,0)(355,10)],(0,0),(1,1),(2,1),(3,0),(4,0),(5,0),(6,0),(7,0),(8,0),(9,0),(10,0),(11,0),(12,0),(13,0),(14,0),(15,0),(16,0),(17,0),(18,0),(19,0),(20,0),(21,0),(22,0),(23,0),(24,0),(25,0),(26,0),(27,0),(28,0),(29,0),(30,0),(31,0),(32,0),(33,0),(34,0),(35,0),(36,0),(37,0),(38,0),(39,5),(40,0),(41,0),(42,0),(43,0),(44,0),(45,0),(46,0),(47,0),(48,0),(49,0),(50,0),(51,0),(52,0),(53,0),(54,0),(55,0),(56,0),(57,0),(58,0),(59,5),(60,0),(61,0),(62,0),(63,0),(64,0),(65,0),(66,0),(67,0),(68,0),(69,0),(70,0),(71,0),(72,0),(73,0),(74,0),(75,0),(76,0),(77,0),(78,0),(79,5),(80,0),(81,0),(82,0),(83,0),(84,0),(85,0),(86,0),(87,0),(88,0),(89,0),(90,0),(91,0),(92,0),(93,0),(94,0),(95,0),(96,0),(97,0),(98,0),(99,0),(100,0),(101,0),(102,0),(103,0),(104,0),(105,0),(106,0),(107,0),(108,0),(109,0),(110,0),(111,0),(112,0),(113,0),(114,0),(115,0),(116,0),(117,0),(118,0),(119,0),(120,0),(121,3),(122,3),(123,3),(124,3),(125,3),(126,3),(127,3),(128,2),(129,2),(130,2),(131,2),(132,2),(133,2),(134,2),(135,2),(136,2),(137,2),(138,2),(139,2),(140,2),(141,2),(142,2),(143,0),(144,0),(145,0),(146,0),(147,0),(148,0),(149,0),(150,0),(151,0),(152,0),(153,0),(154,0),(155,0),(156,0),(157,0),(158,0),(159,0),(160,0),(161,0),(162,0),(163,0),(164,0),(165,0),(166,0),(167,0),(168,0),(169,0),(170,0),(171,0),(172,0),(173,0),(174,0),(

175,0),(176,0),(177,0),(178,0),(179,0),(180,0),(181,0),(182,0),(183,0),(184,0),(
 185,0),(186,0),(187,0),(188,0),(189,0),(190,4),(191,4),(192,4),(193,4),(194,4),(
 195,4),(196,4),(197,4),(198,4),(199,4),(200,2),(201,2),(202,2),(203,2),(204,2),(
 205,2),(206,2),(207,0),(208,0),(209,0),(210,0),(211,0),(212,0),(213,0),(214,0),(
 215,0),(216,0),(217,0),(218,0),(219,0),(220,0),(221,0),(222,0),(223,0),(224,0),(
 225,0),(226,0),(227,0),(228,0),(229,0),(230,0),(231,0),(232,0),(233,0),(234,0),(
 235,0),(236,0),(237,0),(238,0),(239,0),(240,0),(241,0),(242,0),(243,0),(244,0),(
 245,0),(246,0),(249,0),(248,0),(249,0),(250,0),(251,0),(252,0),(253,0),(254,0),(
 255,0),(256,0),(257,0),(258,0),(259,0),(260,0),(261,0),(262,0),(263,0),(264,0),(
 265,0),(266,0),(267,0),(268,0),(269,0),(270,0),(271,2),(272,2),(273,2),(274,2),(
 275,2),(276,2),(277,2),(278,2),(279,2),(280,2),(281,2),(282,2),(283,2),(284,2),(
 285,2),(286,2),(287,2),(288,2),(289,2),(290,2),(291,2),(292,2),(293,2),(294,2),(
 295,2),(296,2),(297,2),(298,2),(299,2),(300,2),(301,0),(302,0),(303,0),(304,0),(
 305,0),(306,0),(307,0),(308,2),(309,2),(310,2),(311,2),(312,2),(313,2),(314,2),(
 315,2),(316,2),(317,2),(318,2),(319,2),(320,2),(321,2),(322,2),(323,2),(324,2),(
 325,2),(326,2),(327,2),(328,1),(329,1),(330,1),(331,1),(332,1),(333,1),(334,1),(
 335,1),(336,1),(337,1),(338,1),(339,1),(340,1),(341,1),(342,1),(343,0),(344,0),(
 345,0),(346,0),(347,0),(348,0),(349,0),(350,0),(351,0),(352,0),(353,0),(354,0))

– Ajuste das taxas (%) = (%) _ constante

– Taxa média de absenteísmo (%) = (6.87 * Ajuste das taxas) _ variável auxiliar

– Taxa média de indisponibilidade (%) = (28.73 * Ajuste das taxas) _