



IV SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade

International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

GERENCIAMENTO DE PROJETOS VOLTADOS A EMPRESA FARMACÊUTICA APLICANDO MODELO DE SIMULAÇÃO DISCRETA NA FABRICAÇÃO DE MEDICAMENTOS GENÉRICOS

ELLEN MARTINS LOPES DA SILVA

UNINOVE – Universidade Nove de Julho

ellenmmartins@yahoo.com.br

FABIO HENRIQUE PEREIRA

UNINOVE – Universidade Nove de Julho

fabiohp@uninove.br



GERENCIAMENTO DE PROJETOS VOLTADOS A EMPRESA
FARMACÊUTICA APLICANDO MODELO DE SIMULAÇÃO DISCRETA NA
FABRICAÇÃO DE MEDICAMENTOS GENÉRICOS

Resumo

Na indústria farmacêutica a competitividade está fortemente relacionada à pesquisa e lançamento de produtos referência ou genérico, no entanto, o projeto de desenvolvimento de medicamentos envolve muitos processos que se inter-relacionam, tornando seu gerenciamento difícil para o gestor de projetos, mesmo utilizando-se de técnicas como PERT, CPM e gráfico de GANTT, pois devido algumas limitações que estas abordagens possuem os projetos mais complexos não são tratados de forma adequada. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo utilizando a simulação de eventos discretos, podendo ser utilizado para auxiliar gerentes de projeto como parte de um sistema de apoio a tomada de decisão. Os resultados da validação e verificação do modelo demonstram que os valores obtidos por meio da simulação convergem com os valores históricos obtidos e com informações dos especialistas.

Palavras-chave: Simulação de eventos discretos, Modelagem, Gerenciamento de Projeto.

Abstract

In the pharmaceutical industry competitiveness is strongly related to research and launch of reference or generic pharmacy, however, the drug development project involves many processes that interrelated, making their management difficult for the project manager, even if using techniques such as PERT, CPM and GANTT chart because some limitations because these methods have the most complex projects are not treated properly. The objective of this work was developing a model using discrete event simulation and can be used to assist project managers as part of a support system for decision-making. The results of the validation and verification of the model show that the values obtained from the simulation converge with the historical values obtained and with information from the experts.

Keywords: Discrete event simulation, Modeling, Project management.



1 Introdução

Com a competitividade cada vez maior, as empresas estão focadas em alcançar o sucesso, e para atingi-lo algumas características são importantes, como o cumprimento do prazo de entrega estipulado, além de um posicionamento de mercado privilegiado em relação aos seus concorrentes.

As empresas precisam buscar constantemente a qualidade contínua seja no atendimento ao seu cliente ou na melhoria de seus processos. Processos consistem em um grupo de atividades realizadas numa sequência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço que tem valor para um grupo específico de clientes (GONÇALVES, 2000).

Segundo o PMBok (2008), projetos são processos únicos composto por um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas, que são executadas para alcançar um produto, resultado ou serviço. A utilização de uma metodologia de gerenciamento de projetos é fundamental para o controle de tempo, custo e qualidade.

Existem métodos utilizados para auxiliar os gerentes de projetos, porém as técnicas que são mais utilizadas são o Critical Path Method (CPM), Project Evaluation and Review Technique (PERT) e Gráfico de Gantt, porém estes métodos possuem limitações, não conseguindo tratar de forma adequada projetos mais complexos, caracterizados por uma relação de dependência entre os processos ou subprocessos, e/ou que envolvam interações dinâmicas e estocásticas entre seus elementos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, visando um objetivo ou propósito lógico. Durante a execução de um projeto, incertezas relacionadas ao tempo e recursos, por exemplo, podem ocorrer, afetando diretamente o cronograma. Nos últimos anos uma técnica que tem sido utilizada em outras áreas e que vem apresentando bons resultados em tratar essas incertezas é a Simulação de Eventos Discretos. Portanto, diante deste cenário, percebe-se a oportunidade de pesquisar e criar um modelo de simulação voltado ao gerenciamento de projetos no segmento farmacêutico.

2 Proposição de pesquisa

Gerenciar projetos é uma atividade complexa, pois está sujeita a interferência de diversas fontes de aleatoriedades e existe uma deficiência nas metodologias mais utilizadas para gerenciamento de projetos que são as metodologias PERT, CPM e gráfico de GANTT, pois possuem limitações. O CPM e o gráfico de GANTT possuem um caráter excessivamente determinístico, enquanto o PERT assume que a relação entre as atividades e os fatores de risco são independentes, entretanto existe relacionamento entre os fatores de risco (JUN-YAN, 2012). Na prática, quando várias atividades são influenciadas pelo mesmo fator há conectividade entre elas e estão correlacionadas, o que aumenta a variabilidade do tempo, provavelmente causando impacto na data término do projeto.

Considerando que a modelagem e simulação de eventos discretos permite lidar com fenômenos aleatórios de diferentes naturezas, e contemplar naturalmente o relacionamento entre as atividades e os fatores de riscos do projeto, este trabalho propõe que essa metodologia pode ser usada como ferramenta de apoio em gerenciamento de projetos, avaliando os efeitos de variáveis críticas na duração do projeto, com vistas a estimar a real capacidade de atendimento e a possibilidade de aceitação de novos projetos.

3 Objetivos



O objetivo deste trabalho consiste em aplicar a abordagem de modelagem e simulação de eventos discretos, com vistas a construir um modelo de simulação que possa ser utilizado pelos gestores de projeto como parte de um conjunto de sistemas de apoio à decisão, no âmbito do desenvolvimento de medicamento genérico de uma empresa farmacêutica. O modelo desenvolvido poderá ser usado a fim de responder questões como, por exemplo, decisões sobre a real capacidade de atendimento e a possibilidade de aceitação de novos projetos, baseadas em desempenho e projeções simuladas do futuro, o que o caracteriza como um modelo genérico, segundo definição de Freitas Filho (2008).

Especificamente os seguintes aspectos serão investigados:

- Estudar o processo de desenvolvimento de medicamento genérico e levantar variáveis críticas.
- Criar um modelo computacional que represente o processo de desenvolvimento descrito no item anterior.
- Verificar e validar o modelo de forma que ele possa ser utilizado como apoio no processo de tomada de decisão.
- Exemplificar o uso do modelo para estimar o impacto de algumas variáveis na duração do projeto.

4 Referencial teórico

O desenvolvimento da indústria farmacêutica se deu juntamente com o progresso da medicina e ao avanço da pesquisa médica, química, biológica e farmacológica, a partir do século XIX (BASTOS, 2005). De acordo com a autora a principal mudança que ocorreu ao longo dos anos foi ter uma pesquisa voltada para o lançamento de medicamentos, pois em sua fase inicial a maioria dos produtos provinha de origem natural e seu desenvolvimento era realizado a partir da separação e purificação dos produtos extraídos das plantas.

A autora enfatiza que a indústria farmacêutica é uma indústria intensiva em pesquisa e o lançamento de produtos novos ou melhorados caracteriza-se como elemento central no padrão de competição da indústria, isto explica o grande investimento que é realizado em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

4.1 Desenvolvimento de medicamentos genéricos

Esta seção descreve todo o processo de desenvolvimento de medicamento genérico que é adotado na empresa objeto do estudo, e que balisou toda a construção dos modelos conceitual e computacional.

O modelo conceitual foi desenvolvido com base no projeto de desenvolvimento interno de medicamentos genéricos, caracterizado pelo desenvolvimento completo dentro da empresa e que possui os seguintes processos principais: Pré-formulação, Desenvolvimento da formulação, Lote Piloto, Testes de Equivalência (Farmacêutica/Bioequivalência/Estudo de estabilidade), e, por fim envio para a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A



relação entre esses processos principais dá origem a um modelo conceitual resumido, conforme ilustrado na Figura 1.

Para o desenvolvimento do modelo conceitual resumido, foram analisados os relacionamentos existentes entre os processos principais e foi observada a complexidade do projeto, pois existem etapas que dependem de aprovação prévia para que o processo possa continuar, o que explica a presença dos módulos de decisão no modelo conceitual. Estas etapas que dependem de aprovação podem representar uma grande fonte de atrasos.

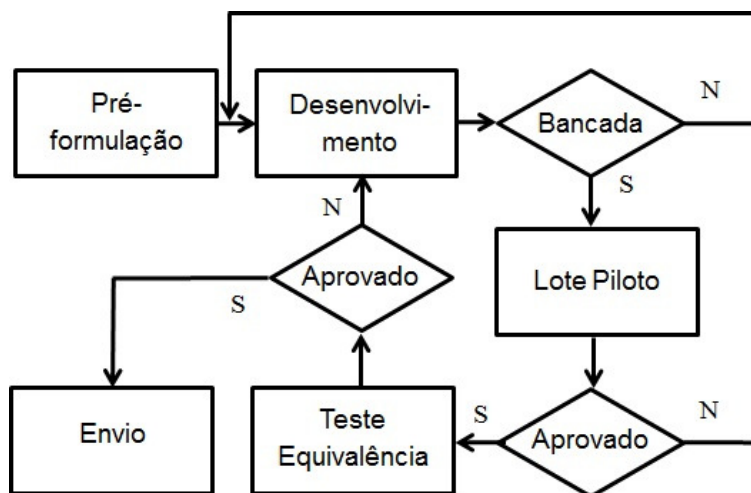


Figura 1. Modelo Conceitual Resumido

A seguir é apresentada uma resumida descrição de todos os processos principais presentes no modelo. A descrição detalhada pode ser encontrada em Silva (2015).

Pré-formulação – No processo pré-formulação é definida a especificação do ativo e obtêm-se informações sobre o medicamento referência. Dentro do processo pré-formulação existem os seguintes subprocessos: Seleção Fabricante Matéria-prima, Avaliação Patentes, Deformulação Referência, In vitro dissolução, Desenvolvimento Metodologia analítica para Matéria-Prima e Chegada de Matéria-Prima.

Desenvolvimento da Formulação – No processo Desenvolvimento da Formulação é criada a composição do produto através de testes específicos realizados em laboratório interno. Este processo é composto pelos subprocessos: Fabricação Lotes Bancada 1-5 kg, Perfil de dissolução, Teste estabilidade super acelerada, Desenvolvimento Metodologia analítica para produto, Definição da Formulação.

Lote Piloto (Scale-up) – O intuito deste processo é produzir os lotes necessários do produto para submissão à ANVISA. O processo Lote Piloto possui quatro subprocessos: Aumento tamanho lote 10-40 kg semi-industrial, Manipular lote piloto, Relatório de desenvolvimento de produto e Validação metodologia analítica para matéria-prima e produto

Teste de equivalência – Neste processo são realizadas análises comparativas do lote piloto versus medicamento referência, e estudos para avaliar a estabilidade do lote piloto. Dentro do processo Teste equivalência estão os seguintes subprocessos: Teste de equivalência Farmacêutica, Estudo de Bioequivalência, Estudo de Estabilidade acelerada.

Após a conclusão destes processos e seus subprocessos ocorre o Envio Registro para a ANVISA, onde toda a documentação e testes realizados serão analisados para posterior aprovação.



4.2 Sistemas, simulação e modelos

De acordo com Law e Kelton (2000), sistema é definido como um conjunto de entidades que se inter-relacionam, trabalhando de forma conjunta para atingir um objetivo específico.

Simulação é um conjunto de condições que imitam o comportamento dos sistemas reais, geralmente em um computador com software específico. A este conjunto de condições definidas dá-se o nome de Modelo (KELTON ET AL., 2000),

Freitas Filho (2008) explica que antigamente eram usados modelos analógicos e físicos para efetuar a simulação, porém atualmente simulação é quase sinônimo de simulação computacional e vem sendo muito utilizada por apresentar algumas características positivas, como a facilidade de uso e sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais. Pereira (2000) complementa dizendo que as empresas têm utilizado a simulação com grande sucesso, e o uso dessa ferramenta tem se mostrado eficiente e poupado investimentos e tempo.

Quanto a sua aplicabilidade, Banks (1998) ressalta que a simulação é usada para descrever e analisar o comportamento de um sistema, responder questões do tipo “o que aconteceria se...?” e, desta forma, poder solucionar um problema do ambiente real sem a necessidade de interferir no mesmo, visto que muitas vezes não é possível esta intervenção no ambiente real para a realização de testes e até mesmo a decisão por uma determinada estratégia a ser seguida pode implicar em consequências financeiras.

Chwif e Medina (2010) argumentam que a simulação pode ser aplicada em diversas áreas, entre elas linhas de montagem, bancos e cadeias logísticas, porém a simulação por si não é uma ferramenta de otimização. Ela analisa cenários, mas combinada com algoritmos de otimização pode encontrar a solução ótima.

Miguel (2009) diz que a utilização de modelos permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades, apoiando e sistematizando o processo de tomada de decisão.

Freitas Filho (2008) diz que a simulação vem sendo cada vez mais utilizada. Devido às suas características de poder auxiliar na verificação e análise de situações em diferentes áreas com um amplo grau de profundidade, costuma-se desenvolver e experimentar com modelos de simulação objetivando o encaminhamento de uma solução a um dado problema.

Conforme Chwif e Medina (2010), os sistemas reais podem apresentar uma maior complexidade, devido, principalmente, a sua natureza dinâmica e aleatória. Fazendo-se uso de um modelo de simulação é possível capturar com maior fidelidade tais características, pois com o uso computacional é possível reproduzir o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições. Com a simulação é possível analisar e entender o comportamento do sistema diante das mudanças que podem ocorrer.

4.3 Gerenciamento de projetos

A grande competitividade do mercado atual fez aumentar o interesse pelo gerenciamento de projeto, já que as atividades ligadas a P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), projetos de produtos e processos, logística, administração da Tecnologia da Informação, entre outras, são as que mais agregam valor aos produtos/serviços e não as atividades rotineiras (CARVALHO & RABECHINI JR., 2011). Desta forma, as atividades típicas de projetos, chamadas de atividades inteligentes, precisam cada vez mais, ser administradas de forma eficaz. Os autores ainda ressaltam que a sobrevivência de uma empresa, nos dias de hoje,



requer de seus executivos ações rápidas, consequentes e coerentes, e isto depende de muito conhecimento, esforço e escolha de um conjunto de práticas gerenciais que a levem a alcançar a eficiência e eficácia.

Existem atualmente diversas técnicas que auxiliam no gerenciamento e controle dos projetos e ajudam a equipe de gestão a elaborar a programação do projeto e gerenciar o cronograma.

Segundo Ahuja e Thiruvengadam (2004) dentre as técnicas mais difundidas, estão:

- Gráfico de Gantt.
- *Critical Path Method* (CPM).
- *Program Evaluation and Review Technique* (PERT).

O Gráfico de Gantt mostra as atividades em uma escala de tempo, marcando a duração planejada face ao andamento da atividade, tendo como principal vantagem a fácil compreensão, como salienta Jun-Yan (2012). Porém, Carvalho e Rabechini Jr. (2011) enfatizam que esta técnica não é adequada para projetos muito complexos, já que o gráfico de Gantt não oferece um detalhamento suficiente para facilitar a gestão do projeto.

Moraes et al. (2008) diz que o CPM se baseia na teoria de grafos, sendo os projetos representados através de um grafo, o que facilita sua programação. Um grafo é um conjunto de vértices e um conjunto de arestas que ligam pares de vértices distintos.

Muñoz e Muñoz (2010) enfatizam que com o uso da Técnica CPM é possível efetuar uma análise da estimativa de duração de um projeto apenas quando a duração de cada atividade é conhecida, trabalhando de forma determinística (trabalham somente com variáveis do tipo não probabilísticas) e com isto pode-se determinar a duração mínima do projeto e as atividades críticas.

Moraes et al. (2008) complementam ressaltando que o uso da técnica CPM depende que algumas hipóteses sejam atendidas, como por exemplo: duração de cada atividade precisa ser determinística, todas as atividades precisam ser executadas, pois, o modelo não incorpora nenhum tipo de decisão e, a rede não pode possuir ciclos, ou seja, uma atividade não pode ser reexecutada após sua conclusão. Entretanto, estas hipóteses nem sempre podem ser consideradas verdadeiras, principalmente em projetos que apresentam elevada incerteza.

Carvalho e Rabechini Jr. (2011) afirmam que o PERT utiliza um sistema estocástico de estimativa de durações para cada atividade do projeto, sendo realizadas três estimativas de tempo uma estimativa mais provável, otimista e pessimista.

Carvalho e Rabechini Jr. (2011) citam que as técnicas PERT e CPM possuem passos em comum:

- Definir todas as atividades significativas ou tarefas;
- Desenvolver os relacionamentos entre as atividades, definindo precedências;
- Atribuir estimativas de tempos e recursos para cada atividade;
- Calcular o caminho crítico.

Apesar dos passos em comum entre PERT e CPM, existe diferença na forma de realizar estimativas de tempo entre as duas técnicas. O CPM adota apenas uma estimativa de duração por atividade para fazer a programação, sendo totalmente determinístico, enquanto PERT usa um sistema estocástico.

4.3.1 Limitações das técnicas PERT, CPM e GANTT

Muñoz e Muñoz (2010) ressaltam que a técnica PERT trabalha com duração das atividades de forma estocástica, ou seja, variáveis aleatórias. É possível estimar qual a



probabilidade do projeto ser concluído dentro do prazo, no entanto não prevê que o tempo de um caminho crítico pode sofrer variações e o fato de que a duração de cada atividade pode não ser independente, isto é, o término de uma atividade depende de outra atividade. Porém, quando se trata de projetos é preciso considerar que variabilidade e incertezas podem ocorrer e, consequentemente, afetar o cronograma inicial.

Carvalho e Rabechini Jr. (2011), assim como Munõz e Muñoz (2010), também afirmam que a técnica PERT admite que a execução de uma atividade não interfere no tempo de execução de outras, ou seja, assume que as atividades trabalham de forma independente.

Devido a estas particularidades as técnicas PERT e CPM não conseguem tratar as variáveis dinâmicas (no qual seu estado é alterado ao longo do tempo) e nem as variáveis aleatórias adequadamente (MUNÕZ E MUÑOZ, 2010).

Antoniol et al. (2004) afirmam que as ferramentas tradicionais como, PERT, CPM e diagrama de Gantt, auxiliam no planejamento das atividades do projeto, no entanto não desempenham um bom papel na avaliação da probabilidade de cumprir o prazo do projeto.

5 Metodologia e materiais

Foi realizada uma pesquisa exploratória por meio da pesquisa bibliográfica. Como método de pesquisa foi utilizado o método experimental com o uso de modelagem e simulação de modelos estocásticos, pois o modelo criado permite analisar as variáveis aleatórias críticas do sistema. Quanto a natureza do trabalho, pode ser caracterizado como aplicado, pois está direcionado para a resolução de um problema, seguindo uma abordagem quantitativa. Quanto ao objetivo, a pesquisa é do tipo explicativa, por propor um modelo para explicar o efeito de variações em cenários de simulação.

Foram realizadas reuniões com o diretor, gerentes de projetos e *Project Management Office* (PMO), para obtenção de informações importantes com o intuito de averiguar como o processo é realizado atualmente. Estas informações também foram importantes para a construção do modelo. Foram informados todos os processos e subprocessos, seguidos da ordem de precedência. Para cada processo/subprocesso foi informado o tempo mínimo, médio e máximo de duração, pois a empresa não possuía dados históricos das durações de projetos anteriores.

O modelo foi criado utilizando-se o software de simulação de eventos discretos Arena® na versão Student 14.50 (ARENA®, 2013).

Do ponto de vista de hardware, foi utilizado um notebook com o sistema operacional Windows 8.1, com processador Core i5, 3ª geração, 4 GB RAM.

O Microsoft Excel® foi utilizado na etapa de verificação, pois esta etapa foi realizada com uso de modelo determinístico.

5.1 Definição do modelo probabilístico

Modelo probabilístico, de acordo com Chwif e Medina (2010), é uma distribuição de probabilidades que representa o fenômeno aleatório em estudo a ser incorporado ao modelo de simulação.

A empresa forneceu os valores de tempo mínimo, médio e máximo, em dias, para a conclusão de cada subprocesso, que são demonstrados na Tabela 1. Estes valores foram utilizados para a construção do modelo de simulação proposto.



Os dados adquiridos na etapa de coleta de dados foram lançados no modelo e assumiu-se a distribuição de probabilidade triangular em quase todos os subprocessos, que, segundo Kelton (2000) e Banks (1998), é comumente usada quando se têm estimativas ou suposições dos limites inferior, superior e o valor mais provável de uma variável aleatória. Pelo fato de estar estimando o comportamento de variáveis com uma informação a mais (o valor mais provável), se comparado a uma distribuição uniforme, onde se usa apenas o valor mínimo e máximo, a distribuição triangular pode implicar em resultados mais aderentes à realidade (FREITAS FILHO, 2008).

Apenas os subprocessos Teste de estabilidade e Estudo de estabilidade assumiram valores constantes, pois o Teste de estabilidade tem duração fixa de 30 dias e o Estudo de Estabilidade tem duração fixa de 180 dias.

Tabela 1**Tempos mínimo, médio e máximo de conclusão dos subprocessos**

Processo	Atividade	Tempo Mínimo	Tempo Médio	Tempo Máximo
Processo Principal	1. Pré Projeto			
Processo Principal	2. Pré Formulação			
Sub Processo	2.1. Seleção Fabricante de Matéria Prima	60	90	120
Sub Processo	2.2. Avaliação Patentes	10	10	15
Sub Processo	2.3. Deformulação Referência	30	60	90
Sub Processo	2.4. In-Vitro dissolução referência	15	30	45
Sub Processo	2.5. Desenvolvimento Metodologia Analítica (Matéria Prima)	15	30	45
Sub Processo	2.6. Chegada de Matéria Prima	90	120	150
Processo Principal	3. Desenvolvimento Formulação			
Sub Processo	3.1. Fabricação Lotes Bancada 1-5 Kg + 3.2 Perfil de dissolução	45	60	120
Sub Processo	3.3. Teste estabilidade Superacelerada	30	30	30
Sub Processo	3.4. Desenvolvimento Metodologia analítica para produto	60	90	120
Sub Processo	3.5. Definição da formulação (bancada+perfil+superacelerada)	75	90	150
Processo Principal	4. Lote piloto			
Sub Processo	4.1. Manipulação do lote piloto de ajuste médio 40 kg	15	30	45
Sub Processo	4.2. Manipulação do lote piloto de submissão	20	30	90
Sub Processo	4.3. Relatório de desenvolvimento do produto	30	90	180
Sub Processo	4.4. Validação Metodologia analítica para Matéria prima e produto	60	90	120
Processo Principal	5. EQFAR/BE/Estabilidade			
Sub Processo	5.1. Teste de equivalência Farmacêutica (realizado por laboratório externo)	30	45	60
Sub Processo	5.2. Bioequivalência	90	120	150
Sub Processo	5.3. Estudo de Estabilidade longa duração	180	180	180
Processo Principal	6. Envio Registro			

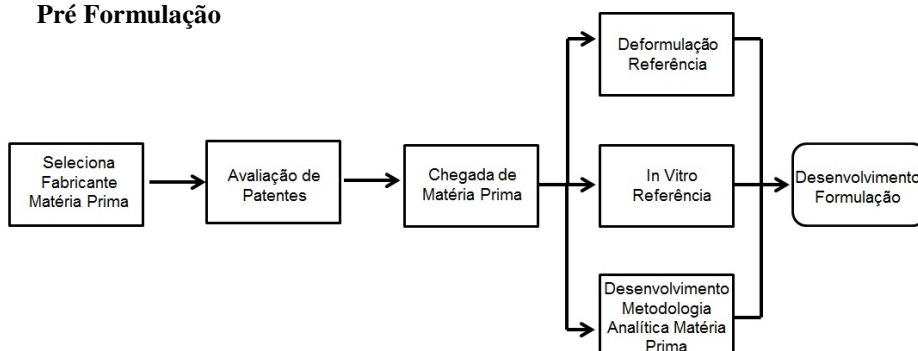
5.1.1 Modelo conceitual

O modelo conceitual foi construído com base nos processos e subprocessos de desenvolvimento de medicamento genérico, conforme pode ser verificado na seção 4.1. Todas as informações obtidas através das reuniões realizadas na empresa, como a dependência entre os processos e a ordem de precedência, juntamente com seus tempos de duração, os recursos utilizados em cada processo e o total de recursos disponíveis no sistema, foram incluídas no sistema, ressaltando que apenas a informação referente aos recursos que compõe cada subprocesso não foi autorizada a divulgação.

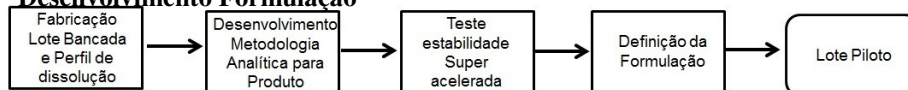
A informação que define a ordem de precedência de cada processo e seus subprocessos está ilustrada na Figura 2.



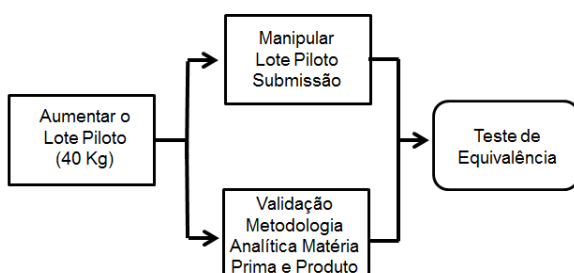
Pré Formulação



Desenvolvimento Formulação



Lote Piloto



Teste Equivalência

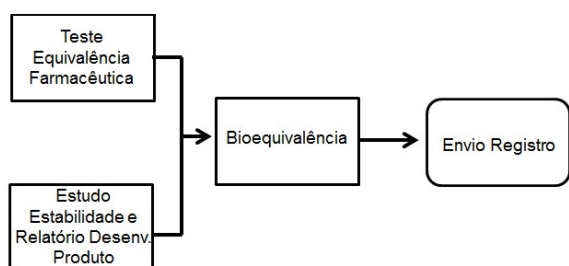


Figura 2. Ordem de precedência dos processos e subprocessos

5.1.2 Modelo computacional

É a tradução do modelo conceitual em rotinas computacionais definidas na etapa de inferência e seu acoplamento aos modelos probabilísticos. O modelo computacional construído é apresentado com detalhes na seção de Análise dos resultados.



5.1.3 Verificação e validação do modelo

Para a verificação do modelo, foram desenvolvidos modelos determinísticos para três cenários, considerando os tempos mínimos, médios e máximos para todos os processos e subprocessos (Tabela 1), utilizando o *microsoft excel*. Para processos simultâneos foi considerado o tempo de duração do processo mais demorado. O intervalo médio de tempo entre as chegadas de projetos no sistema foi definido como constante e ajustado para garantir que não houvesse concorrência por recursos e a formação de filas nos processos.

Além disso, os cenários criados não consideram a possibilidade de verificação dos resultados de estabilidade, do desenvolvimento da metodologia e da aprovação do teste piloto. No modelo computacional, isso significa que os módulos de decisão foram removidos nas versões determinísticas.

A escassez de dados históricos do sistema foi um fator que dificultou a validação do modelo. Dessa forma, foi considerada principalmente a experiência dos profissionais da empresa diretamente envolvidos no processo de produção de medicamentos. Valores médios, mínimos e máximos da duração do projeto (makespan) foram obtidos nas reuniões de trabalho com os especialistas. Dados históricos dessas medidas de desempenho também foram obtidos e considerados na validação.

5.1.4 Experimentos Computacionais

Na simulação foram consideradas 10 replicações do modelo, taxa de chegada de um projeto a cada 120 dias, segundo uma distribuição exponencial, sendo 10% de projetos de baixa, 30% de projetos de média e 60% de projetos de alta complexidade. Os números de ciclos no processo principal de Desenvolvimento da Formulação para projetos de baixa, média e alta complexidade são de, respectivamente, 4, 6 e 8 ciclos. O número de ciclos representa o número de vezes que um projeto passa pelos módulos 'Fabricação lote bancada e perfil dissolucao' e 'Desenv. Metodologia Analitica Produto', até que a melhor formulação seja encontrada.

6 Análise dos resultados

Nesta seção são apresentados os aspectos da construção do modelo computacional proposto e os resultados obtidos.

6.1 Modelo computacional

A construção do modelo computacional teve início após ter sido definido o modelo conceitual e descritos os processos principais, e todos os seus subprocessos.

Obedecendo a ordem de precedência dos processos e subprocessos apresentada na Figura 2, com tempos de processamento em cada processo definidos como na Tabela 1, resultou em um modelo computacional conforme ilustrado na Figura 3. Todo o detalhamento dos módulos utilizados na construção do modelo computacional pode ser encontrado em (SILVA, 2015).

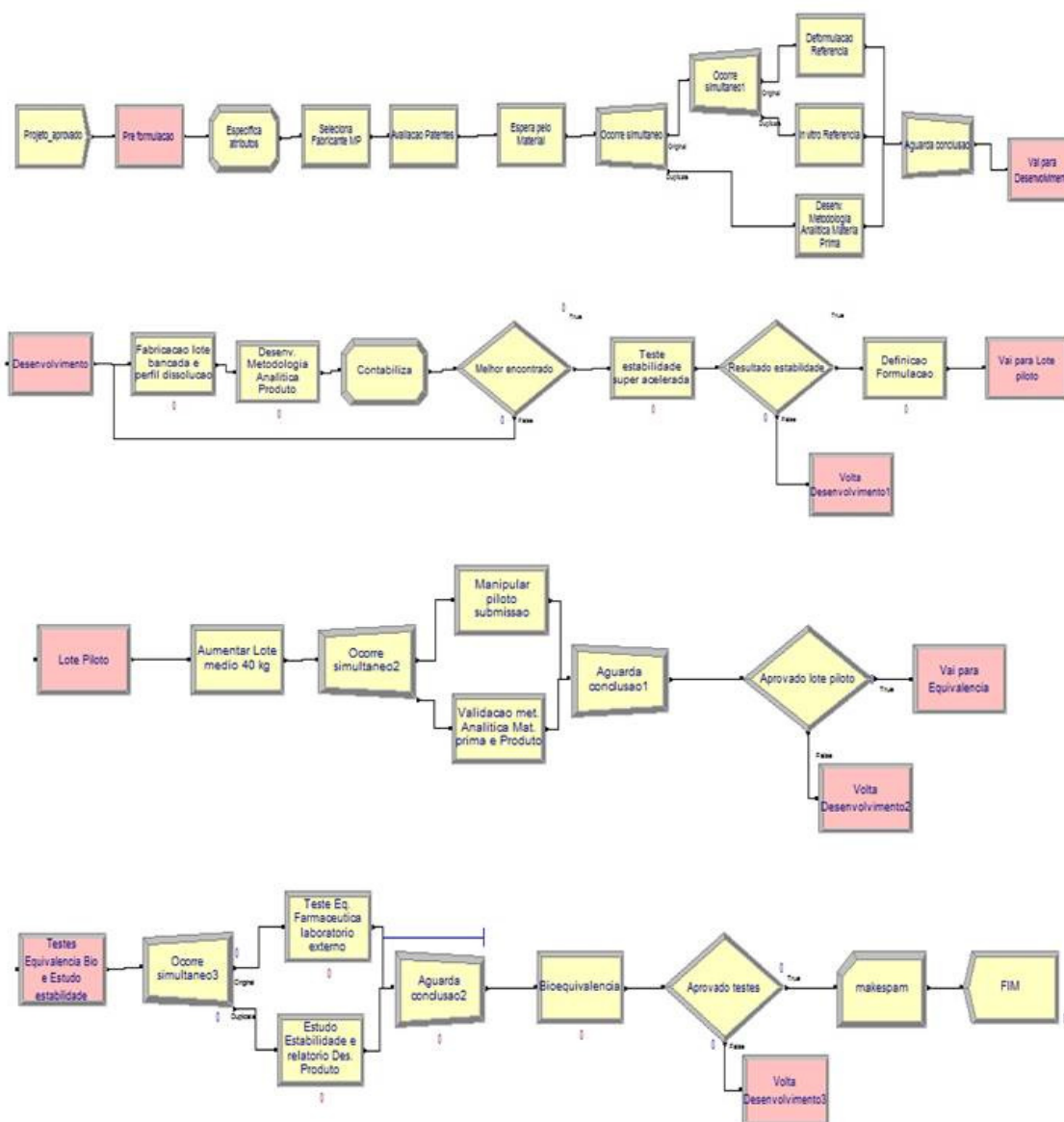


Figura 3. Visão do modelo computacional completo

6.2 Resultados da validação do modelo

Os resultados obtidos utilizando a planilha de cálculo e os obtidos através da simulação são muito semelhantes. Esses resultados de validação são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2

Comparação dos valores de makespan mínimo, médio e máximo obtidos na simulação com valores históricos e de especialistas da empresa

	<i>Makespan</i>		
	Mínimo	Médio	Máximo
Média	355,11	790,00	1351,97
Desvio-padrão	54,17	155,06	334,57
Erro amostral	54,29	155,40	335,31
Limite Inf.	300,82	634,60	1016,66
Limite Sup.	409,40	945,40	1687,28
Especialistas	390,00	660,00	1200,00
Histórico	423,90	664,20	1062,90

Importante observar que os valores indicados pelos especialistas estão dentro dos intervalos de confiança [Limite Inf.; Limite Sup.] de 95% para o makespan obtido na simulação. Esse resultado indica que não há indícios de que os valores de makespan simulados sejam diferentes daqueles indicados pelos especialistas.

Outra validação realizada usou como critério o impacto do número de ciclos no processo principal de Desenvolvimento da Formulação no tempo total do projeto de alta complexidade e constatou-se que é possível observar que o número de ciclos interfere significativamente na duração do projeto, e que quanto maior o número de ciclos maior o valor de makespan. Para o experimento foram adotados 8, 10 e 12 ciclos. Na prática, o resultado da simulação pode ajudar o gerente de projeto a definir o número máximo de ciclos em um projeto com vistas a conseguir a sua conclusão dentro do prazo estabelecido.

Os valores encontrados com este experimento são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3

Valores de makespan obtidos na simulação

	Número de ciclos para projetos de alta complexidade								
	8 ciclos			10 ciclos			12 ciclos		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
MÉDIA	345,50	980,63	2141,45	404,35	1118,02	2234,26	397,59	1178,45	2427,75
DESVIO	83,94	269,63	744,42	106,55	215,52	545,92	117,39	322,34	627,96
Lim. Inf.	314,16	879,95	1863,48	364,57	1037,55	2030,41	353,75	1058,08	2193,27
Lim. Sup.	376,85	1081,31	2419,42	444,14	1198,50	2438,11	441,42	1298,81	2662,24

6.3 Resultados dos Experimentos Computacionais

Neste trabalho a capacidade de atendimento do sistema é definida pela disponibilidade de recursos necessários a realização das atividades do projeto. Assim, um novo projeto somente poderá ser atendido se isso não implicar em sobrecarga de qualquer recurso. A sobrecarga, nesse caso, é definida quando a taxa de utilização do recurso excede um limite superior estipulado pelo gestor de projeto.



A análise dessa capacidade de atendimento permite, entre outras coisas:

- Identificar recursos com sobrecarga ou subcarga de trabalho;
- Monitorar as atribuições de trabalho aos recursos visando equilibrar os respectivos volumes de trabalho;
- Definir adequadamente a real capacidade de atendimento do sistema;
- Estabelecer políticas de aceitação de novos projetos e negociação de prazos de entrega;
- Identificar e justificar a necessidade de aquisição de novos recursos.

Para ilustrar essa funcionalidade no modelo desenvolvido, foi realizado um conjunto de experimentos com foco no monitoramento da carga de trabalho (taxa de utilização) dos recursos do sistema. Esses experimentos visam observar as mudanças na taxa de utilização dos recursos em função de variações da demanda segundo os cenários descritos na Figura 3.

Nos cenários descritos na Figura 3 quanto menor o intervalo de tempo entre chegadas maior a quantidade de projetos que chegam no modelo, portanto o número de projetos obtidos no cenário 1 inviabiliza um tempo de simulação maior que 2000 dias em função das limitações da versão do Arena ®.

Variáveis do cenário	Descrição
Demanda	Apenas de projetos de alta complexidade
Intervalo de tempo entre chegadas (IC)	Constante em 60 dias (cenário 1), 120 dias (cenário 2) e 180 dias (cenário 3)
Número de ciclos no Desenvolvimento da Formulação	8 Ciclos
Tempo de simulação	2000 dias*
Número máximo de chegadas	30 chegadas *
*Valores definidos em função da limitação do ARENA® (versão acadêmica)	

Figura 4. Cenários simulados para análise da capacidade de atendimento

Os resultados de número de solicitações (*Number Seized*) e taxa de utilização, para alguns dos recursos mais utilizados, são apresentados na Tabela 4.

Observa-se, claramente, a tendência no aumento da taxa de utilização com a demanda. Vale lembrar que quanto menor o valor de IC maior o número de projetos que chegam no sistema em um intervalo fixo de tempo. A elevada taxa de ociosidade obtida nesse experimento deve-se às limitações impostas pelo simulador (em número de entidade simultâneas no modelo). Assim, não foi possível elevar a demanda de forma a atingir valores de utilização próximos de 100%, o que seria perfeitamente factível em um simulador sem restrições. Resultados semelhantes podem ser obtidos para todos os recursos do sistema, permitindo ao gestor de projetos monitorar as atribuições de trabalho aos recursos, equilibrar os respectivos volumes de trabalho e definir adequadamente a real capacidade de atendimento do sistema, por exemplo.



Tabela 4
Número de solicitações (*Number Seized*) e taxa de utilização dos recursos mais utilizados do modelo

RECURSO	INTERVALO DE TEMPO ENTRE CHEGADAS (dias)					
	<i>Number Seized</i>			Taxa de utilização		
	60	120	180	60	120	180
HPLC Hitachi Elite D.A.	226	141	117	0,2410	0,2200	0,2107
Analista Perfil Dissolucao	77	49	40	0,1131	0,0948	0,0900
Espectrofotometro D.A.	165	102	88	0,2744	0,2590	0,2551
Pessoas Pre Formulacao	30	17	11	0,0503	0,0283	0,0181
Misturador De Bins OSMEC	74	43	32	0,2968	0,1665	0,1287
Dissolutor Comprimidos D.A.	225	136	110	0,1749	0,1500	0,1414
Granulador High Sher GLATT	74	43	32	0,2968	0,1665	0,1287
PMO	60	34	23	0,1244	0,0715	0,0502
Analizador Tamanho de Particula DA	28	16	10	0,0777	0,0421	0,0235
Lab Coater GC 300	74	43	32	0,2968	0,1665	0,1287

Fonte: A autora.

7 Conclusões

Foi estudado o processo de desenvolvimento de medicamentos genéricos e levantadas as variáveis críticas e na sequência o modelo conceitual e modelo computacional propostos inicialmente foram construídos.

A verificação do modelo mostrou que, segundo os aspectos que foram considerados, não há erros na lógica do modelo desenvolvido. Ademais a validação realizada observou que os valores indicados pelos especialistas estão dentro do intervalo de confiança de 95% para os valores de makespan obtidos na simulação, demonstrando que o modelo tem funcionalidades que permitem sua utilização como ferramenta de apoio no processo de tomada de decisão.

No que diz respeito ao impacto das variáveis na duração dos projetos, foi utilizada a variável de número de ciclos de projetos de alta complexidade. Pode-se observar que estas variáveis estão diretamente ligadas à duração dos projetos, na qual, nos ciclos máximos, o prazo dos projetos acaba sendo mais longo se comparado com os ciclos curtos e médios.

Como medida de desempenho para este trabalho considerou-se o makespan. Outros fatores analisados são a capacidade de atendimento do sistema e a taxa de utilização dos recursos, sendo possível verificar que quanto maior o número de projetos que entram no sistema maior a taxa de utilização dos recursos.

Portanto, considera-se que a metodologia pode ser utilizada como apoio ao gerenciamento de projeto, como havia sido proposto.

REFERÊNCIAS

AHUJA, V.; THIRUVENGADAM, V. (2004). Project scheduling and monitoring: current research status. *Construction Innovation*, Índia, 4, 19-31.



ANTONIOL, G.; CIMITILE, A.; LUCCA, G. A. DI e PENTA, M. DI. (2004). Assessing Staffing Needs for a Software Maintenance Project through Queuing Simulation. *IEEE Transactions on software Engineering*, 30(1).

BANKS, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley and Sons.

BASTOS, V. D. (2005). Inovação Farmacêutica: padrão setorial e perspectivas para o caso brasileiro. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, 22, 271-296.

CARVALHO, M. M.; RABECHINI JR. (2011). *Fundamentos em gestão de projetos construindo competências para gerenciar projetos* (3a ed.). São Paulo: Atlas.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. (2010). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos Teorias & Aplicações* (3a ed.). São Paulo: Bravart.

FREITAS FILHO, P. J. (2008). *Introdução à modelagem e simulação de sistemas* (2a ed.). Florianópolis: Visual Books.

GONÇALVES, J.E.L. (2000) As empresas são grandes coleções de processos. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 1.

JUN-YAN, L. (2012). Schedule Uncertainty Control: A literature review. *Elsevier*, 1842-1848.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R., P.; SADOWSKI, D. A (2000). *Simulation With ARENA* (2a ed.). New York: McGraw Hill.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (3a ed.). New York: McGraw-Hill.

MIGUEL, P. A. C. (2009). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Ed. Campus.

MORAES, R. O.; LAURINDO, F. J. B.; PEREIRA, P. M. S. (2008). Uso de redes genéricas para programação de projetos. *P&D em Engenharia de Produção*, 7, 24-35.

MUNÓZ, D.F. e MUNÓZ, D.F. (2010) Planeación y Control de Proyectos con Diferentes Tipos de Precedencias Utilizando Simulación Estocástica. *Información Tecnológica*, 25-33.

PEREIRA, I. C. (2000). *Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

PMBok (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (4a ed.). Pennsylvania, EUA: Project Management Institute.



IV SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

SILVA, E. M. L. (2015). *Desenvolvimento de um modelo de simulação para apoio ao gerenciamento de projetos de desenvolvimento de medicamento genérico em uma empresa farmacêutica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP, Brasil.