



Alexandre Magno Castañon Guimarães

**Simulação Computacional: Um modelo de maturidade e de
seleção para uso dos softwares em manufaturas**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. José Eugenio Leal
Co-orientador: Prof. Paulo Mendes de Oliveira Junior



Alexandre Magno Castañon Guimarães

Simulação Computacional: Um modelo de maturidade e de seleção para uso dos softwares em manufaturas

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Eugenio Leal

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Renata Albergaria de Mello Bandeira

Exército Brasileiro

Prof. Carlos David Nassi

Programa de Engenharia de Transportes - COPPE/UFRJ

Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de dezembro de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Alexandre Magno Castañon Guimarães

Mestre em logística do Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Industrial (DEI) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO) em 2008. Pós-graduação no Curso de Especialização em Engenharia Econômica e Administração Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2000. Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1988. Trabalhou aproximadamente 25 anos na indústria no segmento de vedação e isolamento térmico. Ao longo desse período, desenvolveu habilidades em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção. Atualmente, desenvolve pesquisas na área de simulação.

Ficha Catalográfica

Guimarães, Alexandre Magno Castañon

Simulação computacional : um modelo de maturidade e de seleção para uso dos softwares em manufaturas / Alexandre Magno Castañon Guimarães ; orientador: José Eugenio Leal ; co-orientador: Paulo Mendes de Oliveira Junior. – 2015.

175 f. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2015.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Software de simulação. 3. Modelos de maturidade. 4. Seleção de software. I. Leal, José Eugenio. II. Oliveira Junior, Paulo Mendes de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

A minha esposa Heloísa e aos meus filhos Isabela e André.

A minha mãe (In Memoriam).

Ao meu orientador José Eugênio Leal.

Aos meus irmãos, familiares e amigos pela paciência e ajuda.

Aos professores e funcionários do DEI pela ajuda e troca de experiências.

A todos aqueles que de uma maneira direta ou indireta me ajudaram.

Resumo

Guimarães; Alexandre Magno Castañon; Leal, José Eugenio (Orientador); Oliveira Junior, Paulo Mendes de (Co-orientador). **Simulação Computacional: Um modelo de maturidade e de seleção para uso dos softwares em manufaturas.** Rio de Janeiro, 2015. 175p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O crescente uso da simulação computacional de eventos discretos nos sistemas produtivos levou as empresas especializadas a desenvolverem e ofertarem no mercado uma ampla variedade de softwares com diferentes características e custos. Assim, a escolha correta de um simulador é de extrema importância, já que uma seleção incorreta pode levar a consequências negativas nos resultados e, por conseguinte, no desempenho organizacional. Nesse contexto, foi possível identificar que há uma lacuna a ser suprida no tocante à seleção de um software de simulação que considere as necessidades dos usuários. Esta tese tem como objetivo, por conseguinte, apresentar uma metodologia estruturada em duas etapas para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos para manufaturas. Na primeira etapa propôs-se um quadro de avaliação dos processos operacionais com base nos modelos de maturidade. Dessa maneira, será possível analisar se a empresa em estudo possui algumas das condições básicas para se adotar a simulação computacional. Na segunda etapa propôs-se um conjunto de critérios que servirá de base para analisar e selecionar os softwares de simulação. A seleção será feita por meio do uso do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), utilizado na resolução de problemas de multicritérios. Tanto a avaliação dos processos operacionais quanto a ponderação do conjunto de critérios serão feitas através da aplicação de questionários, de modo a identificar as necessidades específicas dos processos. Quatro aplicações práticas foram feitas com o modelo proposto, e os seus resultados foram apresentados descrevendo as análises realizadas durante a execução dos trabalhos.

Palavras-chave

Software de simulação; Modelos de maturidade; Seleção de software.

Abstract

Guimarães; Alexandre Magno Castañon; Leal, José Eugenio (Advisor); Oliveira Junior, Paulo Mendes de (Co-advisor). **Computer Simulation: A model of maturity and selection of software for use in manufacturing.** Rio de Janeiro, 2015. 175p. PhD Thesis - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing use of discrete event simulation in production systems led the specialized companies to develop and to offer market a wide range of software with different features and costs. Thus, the correct choice of a simulator is extremely important, since an incorrect selection can lead to negative consequences in the results and hence on organizational performance. In this context, it was possible to identify that there is a gap to be met regarding the selection of simulation software that consider the needs of users. Consequently this thesis aims to present a methodology structured in two stages for the evaluation and selection of discrete event simulation software for manufacturers. In the first stage it was proposed an evaluation framework of operational processes based on maturity models. In this way, it will be possible to analyze whether the company under study has some of the basic conditions to adopt the computer simulation. In the second stage it was proposed a set of criteria as a basis to analyze and select the simulation software. Selection will be made through the use of AHP (Analytic Hierarchy Process) used in multi-criteria problem solving. Both the assessment of operational processes as a set of criteria weighing will be made through the use of questionnaires in order to identify the specific needs of the processes. Four practical applications were made with the proposed model and its results were presented describing the analysis performed during the execution of the work. Four practical applications were made with the proposed model and its results were presented describing the analysis performed during the execution of the work.

Keywords

Simulation software; Maturity models; Software selection.

Sumário

1 – Introdução	14
2 - Simulação: Fundamentos Teóricos	18
2.1- Alternativas de abordagem.....	20
2.2 - Softwares de simulação computacional	23
2.3 - Exemplos de Aplicações da Simulação em manufatura.	24
2.4 - Verificação e Validação	27
3 - Modelos de maturidade	30
3.1 - Maturidade no gerenciamento dos processos	30
3.2 - Modelos de maturidade: Literatura.....	32
4 - Avaliação e seleção dos softwares de simulação	49
4.1 – Softwares de simulação disponíveis comercialmente	50
4.2 - Avaliação e seleção dos softwares de simulação: Literatura	55
5 - Metodologia de pesquisa.....	73
6 - Softwares de simulação: Quais os mais utilizados?	78
6.1 - Software de simulação Arena.....	85
6.2 - Software de simulação ProModel.....	90
6.3 - Software de simulação Flexsim.....	95
7 - Avaliação e seleção de softwares de simulação: proposta	100
7.1 - Método de análise hierárquica AHP	100
7.2 - Modelo proposto: avaliação da maturidade.....	106
7.3 - Modelo proposto: avaliação e seleção de software.....	114
8 - Aplicação do modelo proposto.....	122
8.1 - Primeiro caso teste	122
8.1.1 - Primeira etapa	122
8.1.2 - Segunda etapa	124
8.2 - Segundo caso teste.....	133
8.2.1 - Primeira etapa	133
8.2.2 - Segunda etapa	135
8.3 -Terceiro caso teste	141
8.3.1 - Primeira etapa	141
8.3.2 - Segunda etapa	143
8.4 - Quarto caso teste.....	148
8.4.1 - Primeira etapa	148
9 - Conclusão	152
Revisão bibliográfica.....	156

Apêndice 1 - Avaliação da maturidade dos processos operacionais industriais para aplicação da simulação computacional: Questionário de pesquisa. 164

Apêndice 2 - Questionário para avaliação e seleção do software de simulação: Questionário de pesquisa. 169

Lista de Figuras

Figura 1- Base conceitual da simulação	20
Figura 2 - Avaliação de um sistema	21
Figura 3 - Interligação da Flexibilidade e Especialização do Usuário em Simuladores	24
Figura 4 - Custo acumulado do sistema com e sem simulação	26
Figura 5 - Os cinco níveis de maturidade do modelo PMMM	38
Figura 6 - Metodologia Integrada para avaliar DDSC	44
Figura 7 - Estrutura hierárquica para seleção do software de simulação	59
Figura 8 - Principais grupos de critérios da hierarquia	60
Figura 9 - Uma abordagem <i>fuzzy</i> para caracterização e seleção de software de simulação orientado a objeto	65
Figura 10 - Metodologia proposta com base no FAHP	67
Figura 11 - Três níveis de uma hierarquia para avaliação e seleção de um software de simulação	70
Figura 12 - Metodologia de pesquisa adotada neste trabalho	74
Figura 13 - Metodologia de pesquisa para verificar a participação da metodologia de simulação computacional nos sistemas de manufatura	80
Figura 14 - Ambiente de trabalho do software de simulação arena	87
Figura 15 - Lógica de funcionamento do processo de simulação – Arena com otimização – OptQuest	89
Figura 16 - Ambiente de trabalho do Arena 3D Player	90
Figura 17 - Ambiente de trabalho do Promodel	91
Figura 18 - Ambiente de trabalho do 3D Animator	92
Figura 19 - Elementos de modelagem do Promodel	94
Figura 20 - Ambiente de trabalho do software Flexsim	97
Figura 21 - Exemplo de um modelo contendo os objetos <i>Source</i> , <i>Queue</i> , <i>Processor</i> e <i>Sink</i>	98
Figura 22 - Telas de entrada dos parâmetros dos objetos <i>Queue</i> e <i>Processor</i>	98

Figura 23 - Estrutura hierárquica de um problema de seleção de alternativas	101
Figura 24 - Matriz de comparação das alternativas A_1 , A_2 e A_3	102
Figura 25 - Matriz de comparação das alternativas A_1 , A_2 , A_3 , ... e A_n construída consistentemente a partir dos valores da 1ª linha	105
Figura 26 - Matriz normalizada de comparação das alternativas A_1 , A_2 , A_3 , ... e A_n construída consistentemente a partir dos valores da 1ª linha	105
Figura 27 - Estrutura hierárquica para seleção do software de simulação	118

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Utilização das metodologias de gerenciamento de projetos nas organizações.	46
Gráfico 2 - Modelos de Maturidade de Gestão de Projetos em uso	46
Gráfico 3 - número de artigos com uso da simulação computacional na manufatura publicados por ano	81
Gráfico 4 - Número de trabalhos publicados por período nas áreas de aplicação	82
Gráfico 5 - Participação dos softwares de simulação aplicados na manufatura publicados na literatura	83
Gráfico 6 - Número de artigos citando Arena, Promodel e Flexsim aplicados na manufatura publicados por ano	84
Gráfico 7 - Perfil das capacitações aos ANMC's do primeiro caso	124
Gráfico 8 - Perfil das capacitações aos ANMC's do segundo caso	134
Gráfico 9 - Perfil das capacitações aos ANMC's do terceiro caso	142
Gráfico 10 - Perfil das capacitações aos ANMC's do quarto caso	150

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens entre as representações contínuas e por estágios	35
Tabela 2 - Relação entre os níveis e as dimensões da maturidade do MMGP	40
Tabela 3 - Níveis de maturidade do P2CMM	43
Tabela 4 - Resumo dos modelos de maturidade apresentados no capítulo 3	47
Tabela 5 - Aplicações específicas dos principais softwares de simulação	51
Tabela 6 - Características desejadas para software de simulação orientado a objeto	66
Tabela 7 - Avaliação dos atributos e subatributos na estrutura de tomada de decisão	69
Tabela 8 - Resumo dos critérios apresentados nos trabalhos do capítulo 4	71
Tabela 9 - Versões comercializadas do software Arena	88
Tabela 10 - Conjunto de comandos da lógica de funcionamento do Promodel	95
Tabela 11 - Escala de julgamento	101
Tabela 12 - Índice randômico pela ordem da matriz	104
Tabela 13 - Relação entre as capacitações e os níveis de maturidade	112
Tabela 14 - Classificação da maturidade em função da faixa de pontuação	113
Tabela 15 - Critérios propostos para avaliação do software de simulação	117
Tabela 16 - Atribuição de pesos para os critérios e grupos de critérios	118
Tabela 17 - Ponderação dos critérios frente aos softwares S1, S2, e S3	119
Tabela 18 - Resultados da aplicação do questionário de maturidade - primeiro caso	123
Tabela 19 - Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação - primeiro caso	126

Tabela 20 - Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – primeiro caso	131
Tabela 21 - Resultados da aplicação do questionário de maturidade - segundo caso	134
Tabela 22 - Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação - segundo caso	136
Tabela 23 - Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – segundo caso	139
Tabela 24 - Resultados da aplicação do questionário de maturidade - terceiro caso	142
Tabela 25 - Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação - terceiro caso	144
Tabela 26 - Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – terceiro caso	146
Tabela 27 - Resultados da aplicação do questionário de maturidade - quarto caso	149

Introdução

De acordo com Koch *et al.* (2014) as empresas industriais precisam estar sempre se adaptando às necessidades do mercado. Os autores ressaltam que, para realizar essas mudanças constantes de forma eficiente e eficaz, são necessárias reconfigurações, executadas de forma planejada, dos recursos de produção. No entanto, esse planejamento requer a consideração e a compreensão não somente dos recursos, mas também dos produtos, bem como dos fatores relevantes que podem influenciar os processos em questão.

Além disso, os sistemas de produção estão sujeitos a perturbações de diversas origens, tais como: alterações de demanda, quebra de máquinas, absenteísmo, flutuações financeiras e assim por diante. Todos esses fatores contribuem para que as empresas necessitem cada vez mais de agilidade nas tomadas de decisão. Empresas ágeis diferenciam-se por meio de sua velocidade no processo de planejamento e execução, bem como por meio de sua capacidade de adaptação à mudança de condições no ambiente de produção.

Tornam-se cada vez mais imprescindíveis aos gestores ferramentas e/ou métodos com uma capacidade de análise cada vez mais desenvolvida, de modo a proporcionar maior velocidade na tomada de decisão.

Simulação computacional de eventos discretos é uma das ferramentas de modelagem frequentemente utilizadas para analisar o desempenho dos sistemas de produção.

Como uma ferramenta poderosa para a análise de sistemas estocásticos, a simulação computacional tem sido comumente usada em um largo espectro de domínios como saúde, marketing, cadeia de suprimentos e área militar. Em particular, a simulação tem desempenhado um papel significativo na avaliação e desempenho operacional dos sistemas de manufatura (Negahban e Smith, 2014).

Para Gupta *et al.* (2010), Sawant e Mohite (2011) e Rakiman e Bon (2013) a utilização da simulação em análises de sistemas de produção para melhoria de desempenho tem se tornado cada vez mais importante durante as últimas décadas.

Para aplicar a metodologia de simulação computacional, recomenda-se que as indústrias ou setores possuam algumas condições básicas antes da sua adoção. Uma das maneiras de avaliar essas condições é através dos modelos de maturidade, onde é possível medir a qualidade dos processos. Uma análise dos principais modelos de maturidade é feita e seu contexto para esse trabalho é apresentado.

Atualmente, o mercado oferece um grande número de softwares de simulação com características diferentes, tais como: preço, áreas de aplicação, recursos, abordagens e estratégias de modelagem, entre outras. Essa crescente variedade de softwares de simulação no mercado faz com que a tarefa de selecionar um deles não seja fácil. Uma seleção inadequada pode ter implicações indesejáveis como perdas financeiras, elevado tempo de modelagem, interrupções do projeto, falta de recursos adequados, dentre outras, podendo assim acarretar consequências negativas para a qualidade das decisões resultantes e, por conseguinte, para o desempenho organizacional. Portanto, as empresas estão buscando conselhos sobre as características desejáveis dos softwares de simulação, o que depende do objetivo do seu uso. Logo, é muito importante que se faça uma abordagem adequada para a seleção de software de simulação.

Neste cenário, caracterizado pelas diversas opções de software de simulação e seu crescente uso em processos operacionais dos sistemas produtivos, percebe-se a importância dos métodos que permitam avaliar e selecionar softwares de simulação de eventos discretos adequados, de forma a atender plenamente às necessidades dos usuários. Dessa forma, neste trabalho se apresenta uma revisão de métodos de avaliação e seleção de softwares de simulação.

A necessidade crescente do uso da simulação computacional resulta no aumento do número de simuladores no mercado e artigos publicados nessa área. Uma avaliação da evolução da quantidade de artigos publicados e dos softwares de simulação mais utilizados nos sistemas de manufatura é apresentada neste trabalho.

Além disso, este estudo tem como objetivo apresentar uma metodologia estruturada em duas etapas para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos. Na primeira etapa será proposto um quadro de avaliação dos processos operacionais com base nos modelos de maturidade. Dessa maneira, será

possível analisar se a empresa em estudo possui algumas das condições básicas para se adotar a simulação computacional. Na segunda etapa será proposto um conjunto de critérios que servirá de base para analisar e selecionar os softwares de simulação. Tanto a avaliação dos processos operacionais quanto a definição do conjunto de critérios serão feitas através da aplicação de questionários, de modo a identificar as necessidades específicas dos processos. Serão também realizadas quatro aplicações práticas do modelo proposto e os resultados obtidos serão apresentados descrevendo as análises realizadas durante a execução dos trabalhos.

Sendo assim, o presente estudo trará contribuições para os campos acadêmico e profissional. No âmbito acadêmico acrescentará novos conhecimentos, representados por uma proposta de avaliação dos processos operacionais de uma empresa através de um modelo de maturidade e um modelo para orientar na escolha de um software de simulação. No campo profissional, disponibilizará para as empresas um método que permitirá a realização de análises dos processos e a seleção de um software de simulação, auxiliando assim nas tomadas de decisões para a obtenção do sucesso em adotar a simulação computacional. Também auxiliará os gestores na evolução dos processos operacionais a partir das lacunas encontradas. Ressalta-se a originalidade desse trabalho em utilizar um modelo de maturidade em conjunto com um modelo de avaliação e seleção de software de simulação. Além disso, outro aspecto original do trabalho foi captar, de uma forma estruturada, os critérios de interesse dos gestores de manufaturas com relação aos recursos dos softwares de simulação.

Este trabalho encontra-se organizado em oito capítulos, incluindo a presente introdução. O capítulo 2, além de apresentar os fundamentos teóricos sobre simulação, trata também das definições, abordagens, aplicações de casos, softwares de simulação e métodos de verificação e validação dos modelos de simulação. Os capítulos 3 e 4 realizam uma revisão bibliográfica, respectivamente, dos modelos de maturidade e da avaliação e seleção dos softwares de simulação. Essa revisão constitui a base para a elaboração da metodologia proposta no presente trabalho. O capítulo 5 apresenta a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho. O capítulo 6 apresenta um levantamento da evolução da quantidade de trabalhos na área de simulação, mostrando também quais são os softwares mais utilizados nos sistemas de manufatura. O capítulo 7

apresenta uma proposta de avaliação e seleção de um software de simulação. O capítulo 8 é constituído pela aplicação da metodologia proposta, trazendo, conseqüentemente, os resultados das análises dos processos e da seleção dos softwares. Por fim, no capítulo 9, como conclusão, desenvolve-se uma apreciação tanto dos resultados obtidos ao longo do trabalho quanto das contribuições que ele oferece.

2

Simulação: Fundamentos Teóricos

De forma a dar apoio para os tomadores de decisão no desempenho dos processos industriais em termos de qualidade, custos e prazos ou para avaliar diferentes soluções e estratégias, a metodologia de simulação pode fornecer diversas soluções para as organizações. Tornou-se chave para a compreensão de como um sistema se comporta em condições específicas e, portanto, mostra de forma clara os pontos que devem ser trabalhados para obter um desempenho operacional cada vez mais eficiente, estejam eles relacionados à redução de custos, aumento de produtividade, melhoria de qualidade, alocação de recursos, layout, assertividade nos prazos de entrega, entre outros pontos. Portanto, é recomendável desenvolver primeiro um modelo que representa um sistema através da simulação, e dessa forma avaliar os custos e benefícios de uma nova solução, antes de ser implantada.

De acordo com Azadeh e Maghsoudi (2010), a simulação computacional é uma das ferramentas mais avançadas e poderosas em análise de sistemas. É uma ferramenta importante para modelar e analisar o verdadeiro desempenho de sistemas de manufatura. A simulação permite que os tomadores de decisão possam prever o comportamento de tais sistemas em situações normais e também de emergência, assim como também, decidir sobre a quantidade ideal de máquinas, estações de trabalho, recursos, operadores, e o nível de ocupação dos recursos aceitável. Ainda segundo os autores, em países altamente industrializados a simulação computacional tornou-se uma das técnicas mais utilizadas para a avaliação do desempenho dos sistemas.

De acordo com Sawant e Mohite (2011), o uso da simulação em atividades de projeto e de fabricação é uma das resoluções que muitas indústrias vêm adotando neste século. Tal fato pode ser explicado devido ao aumento da complexidade dos produtos, globalização, mudanças rápidas no ambiente de trabalho, tecnologia, e assim por diante. Os autores ressaltam que a aplicação dessa metodologia aumenta a vantagem competitiva das indústrias.

Para Negahban e Smith (2014), a simulação computacional tem sido usada como uma poderosa ferramenta para a análise de sistemas estocásticos complexos, em uma ampla gama de áreas, como saúde, marketing, cadeia de suprimentos, militar entre outras. Em particular, a simulação tem desempenhado um papel significativo na avaliação e no desempenho operacional dos sistemas de manufatura. Aplicações bem sucedidas de simulação no mundo real têm provado a sua eficácia na abordagem de vários problemas no setor manufatureiro. Segundo o autor, simulação de eventos discretos é uma das técnicas mais utilizadas para a análise e compreensão da dinâmica de sistemas de manufatura. É uma ferramenta altamente flexível que nos permite avaliar diferentes alternativas de configurações de sistemas e estratégias operacionais para apoiar a tomada de decisões no contexto de produção.

Diversos autores como Sandanayake *et al* (2008), Sandanayake e Oduoza (2009), Azadeh e Maghsoudi (2010), Sawant e Mohite (2011), Bosch-Mauchand *et al.* (2012) e Rakiman e Bon (2013) enfatizam o uso da simulação computacional como uma das ferramentas mais avançadas e poderosas para modelar e analisar o desempenho operacional nas empresas.

Segundo Brahmadeep (2014), existem muitos fatores que contribuem para a utilização da simulação na fabricação, tais como, análise dos processos de fabricação, facilidade de uso, flexibilidade, capacidade de modelar a natureza dinâmica e estocástica de sistemas de produção, capacidade de testar vários cenários de produção, design de layout, logística, manuseio de materiais, entre outros. Isso leva os tomadores de decisão a terem uma visão sobre o desempenho da fabricação.

Perguntas tais como – Quantos recursos são necessários? Quantos turnos de trabalho? Qual a área necessária? Qual a produtividade esperada do processo produtivo? – entre outras, são fundamentais para a adequada tomada de decisão.

Diversas definições sobre simulação computacional são encontradas na literatura, dentre elas, podem ser citadas:

“a simulação computacional é uma técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de um programa computacional, que representa alguma parte do mundo real de forma que experimentos no modelo original predizem o que acontecerá na realidade” (Hollocks, 1992).

“simulação envolve, para um dado sistema, a criação de um histórico artificial e sua observação a fim de extrair inferências sobre as características operacionais do sistema real que é por ele representado. A simulação é uma metodologia indispensável para solucionar muitos problemas reais. Ela é utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema, perguntando questões do tipo “O que...”, “se...” e auxiliando o projeto sobre o sistema real. Ambos os sistemas conceitual e existente podem ser modelados com a simulação” (Banks, 1998).

“simulação computacional é a representação de um sistema real através de um modelo utilizando o computador” (Pereira, 2000).

“a simulação computacional de sistemas consiste na utilização de um conjunto de métodos e técnicas matemáticas, com o objetivo de imitar o comportamento de sistemas reais, geralmente utilizando-se computadores e softwares adequados” (Kelton et al., 2004).

2.1

Alternativas de abordagem

Para Pidd (1997), a base conceitual da simulação computacional está representada na figura 1.

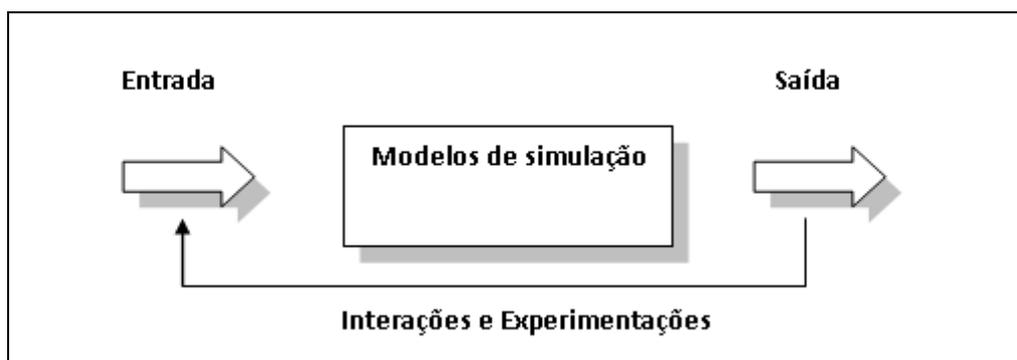


Figura 1: Base conceitual da simulação.
Fonte: Pidd (1997).

De acordo com o autor, muitos sistemas reais são complexos (isto é, têm uma grande quantidade de variáveis, atributos, entidades, além de terem também uma estrutura logística elaborada), dificultando o uso da abordagem analítica.

Neste caso, recomenda-se o uso da simulação, já que ela permite realizar experimentos com o modelo tendo como finalidade a possibilidade de observar e compreender como ele se comporta.

De acordo com Law e Kelton (2000), um sistema é um conjunto de entidades compostas por pessoas ou máquinas que interagem a fim de atingir um objetivo. Estes autores sugerem um modelo para estudar um sistema, conforme descrito na Figura 2.

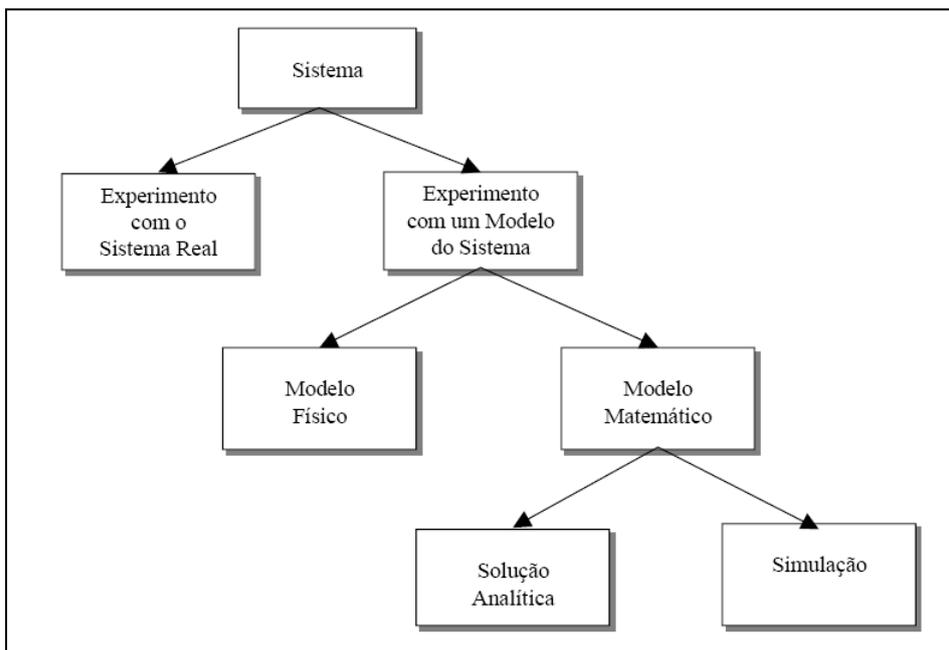


Figura 2: Avaliação de um sistema.
Fonte: Law e Kelton (2000).

Segundo esses autores, um sistema pode ser analisado basicamente de duas formas: experimentação com o sistema real e com modelos do sistema. A alternativa mais confiável parece ser a experimentação com o sistema real, pois as mudanças realizadas são analisadas no próprio sistema. Contudo, esta alternativa pode oferecer significativos riscos, custos elevados, comprometimento do funcionamento do sistema e ainda pode estar sujeita às restrições físicas e temporais.

Para auxiliar a tomada de decisão os modelos devem representar uma simplificação do sistema real, identificando e destacando os elementos mais importantes. Quando comparados aos experimentos realizados com o sistema real, estes modelos oferecem baixo custo, maior rapidez e segurança. Recomenda-se

que a modelagem seja suficientemente detalhada de modo que as conclusões sejam válidas com relação ao sistema real (Law e Kelton, 2000).

Ainda segundo Law e Kelton (2000), os modelos podem ser classificados em matemáticos ou físicos. Os modelos matemáticos representam o sistema real através de notações simbólicas e equações, que podem ser alteradas quando necessário. Os modelos físicos são representações do sistema real, construídos com componentes reais.

Os modelos matemáticos possuem duas abordagens: solução analítica e simulação. Na abordagem analítica busca-se um resultado ótimo para o modelo. Esta técnica pode apresentar algumas restrições em relação ao uso, devido à dificuldade em se obter um modelo matemático que descreva um sistema.

Para Kelton *et al* (2004), existem diferentes tipos de modelo de simulação. Embora cada modelo específico possua suas próprias características, é útil classificar os diferentes modelos de acordo com os seguintes fatores:

- Estático ou dinâmico: Nos modelos estáticos as condições fundamentais não mudam com o tempo, enquanto que em modelos dinâmicos, pode haver várias mudanças ao longo do tempo.

- Discreto ou contínuo: Em um modelo contínuo, as mudanças que ocorrem podem ser consideradas como acontecimentos que são realizados de forma gradual e regular ao longo do tempo e, portanto, poderiam ser representados por curvas suaves. Em contraste, um modelo discreto considera mudanças que ocorrem de forma descontínua em pontos no tempo.

- Determinísticos ou estocásticos: os modelos determinísticos são aqueles que não possuem nenhuma variável aleatória, ou seja, todas as condições e parâmetros considerados são conhecidos. Os modelos estocásticos possuem uma ou mais variáveis aleatórias como entrada, que levam a saídas também aleatórias. Essas variáveis são modeladas utilizando funções de probabilidade apropriadas.

2.2

Softwares de simulação computacional

Um significativo desenvolvimento de softwares de simulação que facilitam a modelagem rápida de um dado ambiente vem crescendo ultimamente devido ao grande interesse por este assunto. Este fato pode ser evidenciado pela facilidade do uso dos softwares disponíveis no mercado, onde as telas de entrada de dados são orientadas por menus, reduzindo significativamente o esforço e o tempo necessário ao processo de construção de um modelo. Além disso, observa-se que esses novos ambientes são mais amigáveis, consistentes em termos estatísticos e possuem interfaces gráficas que permitem visualizações das simulações. Habilidades em programação de computadores, embora benéficas, não são mais imprescindíveis. Outra vantagem na utilização destas ferramentas é que elas apresentam animação gráfica e saída de informações estatísticas que facilitam a crítica dos modelos (Barboza, 2006). A autora menciona em seu trabalho que os aplicativos podem ser classificados em três categorias:

- (a) Linguagem de programação de propósito geral, como Fortran, C, C⁺⁺, Visual Basic entre outras;
- (b) Linguagem de programação para simulação específica, tais como GPSS, GPSS/H, SIMSCRIPT, MODSIM, SIMAN e SLAMSYSTEM;
- (c) Pacotes de simulação. Esta categoria inclui muitos produtos que se diferenciam de acordo com suas aplicações, mas que possuem características comuns.

A escolha de um programa de simulação, entre os softwares de linguagem de programação de propósito geral, linguagem de programação para simulação específica ou pacotes de simulação, está diretamente relacionada com a interligação entre a flexibilidade do aplicativo e a especialização do usuário. A figura 3 apresenta um esquema que correlaciona esta dependência (Rodrigues, 1994).

De acordo com Papavasileiou *et al.* (2007), os softwares de modelagem e simulação computacional mais conhecidos incluem Promodel da Promodel Corporation (Orem, UT), Arena and Witness da Rockwell Automation, Inc. (Milwaukee, WI), Extend da Imagine That, Inc. (San Jose, CA), and Flexsim da

Flexsim Software Products, Inc. (Orem, UT). Um crescente número de softwares de simulação de eventos discretos está sendo disponibilizado no mercado. Uma apresentação mais detalhada será feita no capítulo 4.

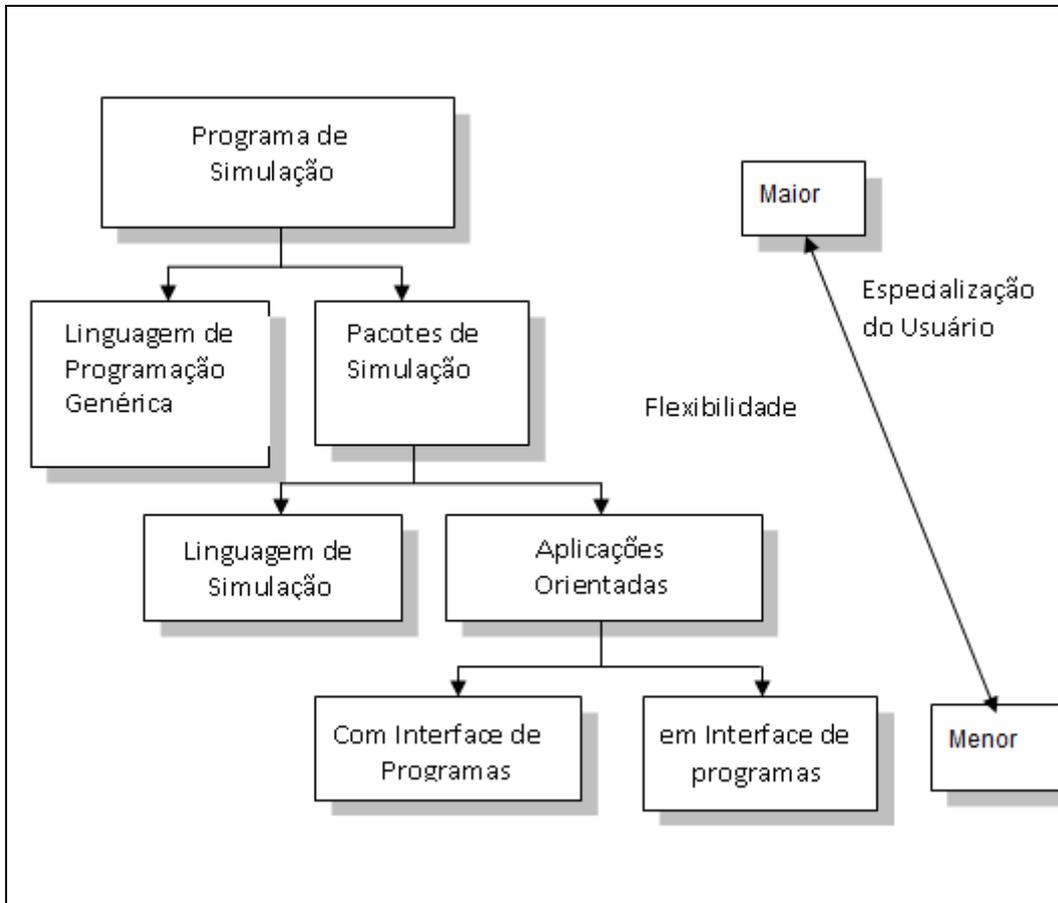


Figura 3: Interligação da Flexibilidade e Especialização do Usuário em Simuladores.
Fonte: Adaptado de Rodrigues (1994).

2.3

Exemplos de Aplicações da Simulação em manufatura.

A importância do estudo desse tema pode ser evidenciada através do crescente número de artigos publicados. Por exemplo, Pierreval *et al.* (2007) estudaram o uso da simulação em uma empresa automotiva francesa visando identificar os pontos fracos, a flexibilidade e o tempo de resposta a alterações da demanda, através da análise dinâmica do comportamento da cadeia de suprimento. Os autores citam que esta metodologia apresenta benefícios concretos e indicam

direções de melhorias. Enfatizam ainda a possibilidade de estudar os efeitos das variações de demanda na cadeia de suprimento.

Greasley (2008) desenvolveu e utilizou um modelo de simulação de eventos discretos para estimar a área de estocagem necessária para uma instalação de manufatura no segmento têxtil. Além do estudo de caso o autor demonstra que a simulação de eventos discretos é um facilitador que pode fornecer uma compreensão qualitativa do comportamento do processo em estudo, além dos benefícios normais associados a esta técnica.

Os autores Ekren e Ornek (2008) analisaram e avaliaram os efeitos de alguns parâmetros de processo no desempenho de um sistema de manufatura. Estes parâmetros incluíram dois diferentes tipos de layout de plantas – funcional e celular- bem como regras de programação, paradas de máquinas, tamanho dos lotes e capacidade do transportador. O processo foi modelado com o apoio do software Arena para avaliar os efeitos desses fatores no desempenho do sistema.

Em outro trabalho, Palominos *et al.* (2009) estudaram a capacidade de resposta de um sistema de produção frente a variabilidade da demanda na indústria de vestuário.

Os autores, Rakiman e Bon (2013), Rivera-Gómez (2013), Brahmadeep (2014) e Shaaban et al. (2014) analisaram e avaliaram os efeitos de alguns parâmetros de processo no desempenho de um sistema de manufatura. Estes parâmetros incluíram: diferentes tipos de layout de plantas, regras de programação, paradas de máquinas, diferentes alocações e capacidades dos recursos e tamanho dos lotes.

A simulação computacional pode ser empregada nos diversos setores da indústria de manufatura. McLean e Leong (2001) citam, entre outros, os seguintes exemplos de uso desta metodologia: (a) avaliação da capacidade de manufatura de novos projetos de produtos; (b) suporte para o desenvolvimento e validação de novos produtos; (c) auxiliar a engenharia de novos sistemas de produção e processos, e avaliar o impacto destes sobre o desempenho global; (d) definir a alocação dos recursos e alternativas de programação; (e) analisar layout e fluxos de materiais dentro das áreas de produção, linhas e estações de trabalho; e (f) desenvolver metas que estimulem a melhoria contínua dos processos de fabricação.

Porque utilizar a Simulação computacional? Os trabalhos divulgados na literatura técnica constataam os diversos benefícios obtidos com o uso da Simulação Computacional. Dentre eles, destacam-se: (a) através dos modelos de simulação é possível estimar o que precisa ser melhorado e quando esta melhoria se faz necessária, facilitando, portanto, a tomada de decisões; (b) grandes ideias e melhorias podem ser obtidas através do uso da simulação computacional, já que a animação do processo facilita o entendimento dos gestores; (c) a simulação permite a possibilidade de validar se a decisão tomada foi a melhor; (d) a simulação reduz os gastos, o tempo e evita as interrupções inerentes à tradicional técnica de tentativa e erro (McClellan, 2004; Harrell et al., 2004).

Entretanto, o maior benefício que o uso da simulação pode contribuir no ambiente industrial, mencionado por Law e Kelton (2000), é permitir ao gestor obter uma visão ampla do sistema, identificando alterações locais e prevendo o impacto que essas possam produzir no sistema geral.

A simulação pode apresentar, na fase inicial, custo elevado, especialmente durante a fase de projeto. Entretanto, o custo geral do projeto, graças à provável redução dos erros, pode ser menor do que o custo da implementação e da operação quando nestas não é empregada a simulação. A figura 4 ilustra a diferença de custo em função do uso da simulação (Harrell et al., 2000; Siebers, 2004).

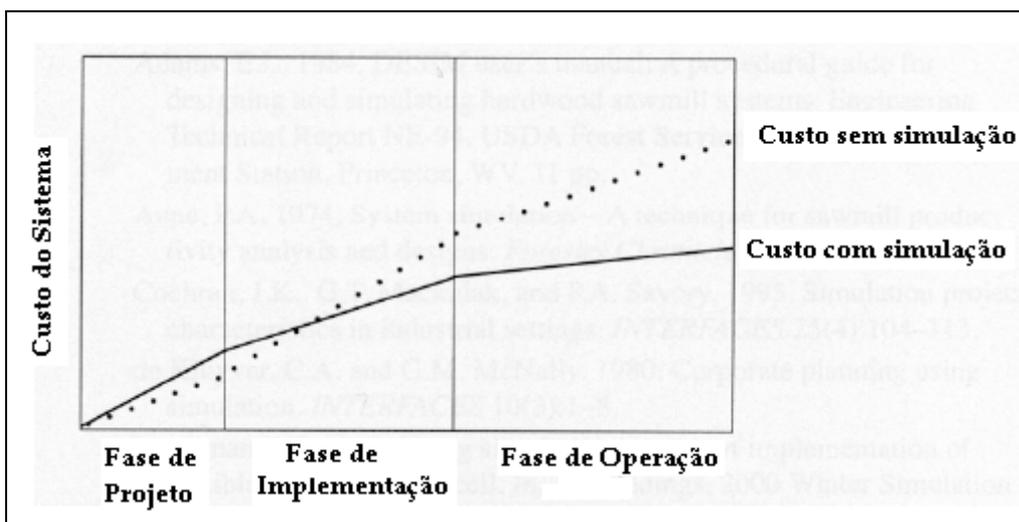


Figura 4: Custo acumulado do sistema com e sem simulação.
Fonte: Sierbers (2004).

2.4

Verificação e Validação

O desenvolvimento e a utilização dos modelos de simulação na avaliação de sistemas têm crescido consideravelmente nos últimos anos. Tornou-se cada vez mais necessária a definição e a aplicação de técnicas mais criteriosas para garantir que esses modelos representem tão bem quanto possível o sistema real que está sendo modelado. Em outras palavras, Verificação e Validação (V e V) de modelos de simulação tornaram-se decisivos.

A execução de V e V nos modelos de simulação tem sido identificada como uma atividade primordial, uma vez que pode aumentar a confiança do usuário nos resultados da simulação levando a uma maior veracidade do sistema simulado. Resultados incorretos levam a implementação de tomadas de decisão também incorretas, implicando em perda de tempo e custos que são, em ordem de grandeza, maiores do que o custo total do estudo de simulação. Isso ilustra a relevância do V e V dentro dos estudos de simulação.

Harrell *et al.* (2004) apresentaram na literatura um método para V e V das modelagens de simulação. Os autores consideram ser imprescindível o envolvimento tanto das pessoas que conhecem o sistema a ser modelado quanto àqueles que vão tomar as decisões durante o desenvolvimento do modelo.

Rabe *et al.* (2008) sugerem os seguintes requisitos para a elaboração de um modelo de V e V:

- Deve ser realizado de forma integrada, ou seja, todas as ações e procedimentos relacionados com qualquer verificação ou validação são discutidos em uma única abordagem.
- É um processo que acompanha o conjunto de estudo de simulação.
- Está baseado nos resultados das fases de documentação do modelo de simulação.
- Deve-se ter um cuidado especial com os dados.

Zengin e Ozturk (2012) descrevem alguns cuidados e recomendações que devem ser levados em consideração durante o desafio de implantar um processo de V e V em um modelo de simulação:

- Nível de V e V: Determinar quanto de V e V é necessário, uma vez que depende das necessidades do usuário. Portanto, quantos testes de V e V são necessários? Essa é a primeira questão no processo de Modelagem e Simulação.
- Demanda por técnicas automatizadas: São necessárias técnicas automatizadas de V e V no processo de modelagem e simulação para executar grandes experimentos. Melhorar as capacidades das técnicas de V e V também é essencial para uma melhor confiança.
- Demanda por técnicas formais: A maioria das técnicas e abordagens de V e V geralmente é informal. A falta de qualquer definição formal provoca um baixo desempenho, métodos V e V mal dimensionados e não repetitivos. Um processo bem formalizado facilita a avaliação do projeto. No lugar de um processo não formalizado, deve-se dar preferência por processos com etapa por etapa, verificação, validação e integração final.
- Universalidade da V e V: A validação e os objetivos de um modelo estão fortemente unidos. Um modelo só pode ser validado conforme exigido nos seus objetivos de projeto. É impossível de validar um modelo geral. Um modelo só poderia ser validado caso fosse aprovado para todo propósito. Esse modelo requer muito custo, uma grande quantidade de códigos, dados e recursos computacionais.
- Seleção dos dados do mundo real: Uma vez que os pontos de vista dos modeladores sobre o mundo real podem variar, um modelo é válido de acordo com o modelador, embora possa não ser válido para outro.
- Imprecisão dos dados do mundo real: Em um processo de V e V, a comparação dos resultados do modelo de dados contra o mundo real é um passo importante. No caso de menos precisão ou falta das amostras reais, o modelo de V e V fica comprometido.
- Limitação de tempo para o processo de V e V: O escopo de um processo de V e V deve cobrir todos os aspectos de um modelo. Mais testes em um modelo aumenta sua confiança. Na maioria dos casos, o modelador não tem tempo suficiente para verificar e validar tudo.

Allen *et al.* (2005) definem o processo de Verificação como sendo a garantia de que a fidelidade de um modelo é mantido quando o modelo é transformado de uma forma para outra. Isto assegura que a modelagem ocorra como pretendida e que a precisão do modelo é preservada ao longo do tempo. O processo de Verificação avalia a construção do modelo. Já o processo de Validação, de acordo com os autores, tem o objetivo de determinar se um modelo é suficientemente próximo do sistema real. A definição de "suficientemente" depende da finalidade do modelo. Aumentar a validade de um modelo tem um custo, por isso, é mais eficiente avaliar um modelo no que diz respeito à aplicação a que se destina.

O interesse na V e V resultou na publicação de diversos trabalhos abordando esse tema. Dentre eles, podemos citar os trabalhos dos autores Kleijnen (1995), Jagdev (1995), Harrell *et al.* (2004), Allen *et al.* (2005), Oberkampf e Trucano (2008), Rabe *et al.* (2008), Fei-Yan Min (2010), Sargent (2011), Zengin e Ozturk (2012), Wang (2013), Olsen e Raunak (2013), Gore e Diallo (2013) e Hollmann *et al.* (2014).

Apesar dos modelos terem abordagens diferentes, existe alguns pontos em comum na maioria deles. O envolvimento entre os especialistas do processo a ser modelado e os especialistas em simulação é de fundamental importância na obtenção do sucesso no projeto. Outro ponto a ser ressaltado é em relação à documentação que deve ser formalizada em cada etapa do processo de modelagem. Por fim, um procedimento de Verificação e Validação deve ser utilizado ao longo de todo o processo de modelagem. Assim, na etapa em que os desvios aparecem, eles podem ser corrigidos na própria etapa, não sendo necessário esperar o fim do projeto. Durante a validação, deve-se ter sempre a preocupação de avaliar a relação entre os custos, os benefícios e a aplicação do modelo.

No capítulo seguinte será feita uma abordagem sobre os modelos existentes na literatura para avaliação do grau de maturidade das empresas.

3

Modelos de maturidade

A preocupação em melhorar os métodos de gestão de projetos, além da necessidade de conquistar novos clientes, deu espaço a estudos relacionados à área de maturidade nas organizações. Os modelos de maturidade oferecem a possibilidade de medir o estágio da organização com relação à qualidade dos seus processos. Os campos de aplicação têm-se ampliado e pesquisas sobre os modelos de maturidade estão se tornando cada vez mais importantes. Os modelos já existentes fornecem às organizações um percentual ou valor do grau de maturidade.

3.1

Maturidade no gerenciamento dos processos

As organizações reconhecem as necessidades em gerenciar de forma correta os seus processos. No entanto, a classificação e a avaliação dos processos nas organizações permitem um melhor entendimento da situação atual, o que possibilita planejar e avaliar as iniciativas de transformação baseadas em processos. O modelo de maturidade em gestão de processos além de proporcionar subsídios aos executivos para tomadas de decisão, ao mesmo tempo permite que os envolvidos tenham uma melhor compreensão do nível de maturidade presente nas organizações (Hammer, 2007a).

Os modelos de maturidade partem do princípio que as organizações, pessoas e setores evoluem através de um processo contínuo de desenvolvimento ou crescimento em direção a um nível de maturidade mais elevado. Os modelos têm como objetivo ajudar na preparação de processos e execução de melhores práticas para que as organizações se desenvolvam de forma constante.

Klimko (2001) define modelos de maturidade como o desenvolvimento de uma entidade ao longo do tempo. Esta entidade pode ser qualquer coisa de interesse: um ser humano, uma função organizacional etc. De acordo com o autor, os modelos de maturidade têm as seguintes propriedades: o desenvolvimento de

uma entidade única é simplificado e descrito com um número limitado de níveis de maturidade (normalmente quatro ou seis), os níveis são caracterizados por determinadas exigências que a entidade tem para atingir a esse nível, os níveis são por ordem sequencial, a partir de um nível inicial até o nível final (o último é o nível de perfeição), durante o desenvolvimento a entidade está progredindo seguindo em frente, de um nível para o próximo.

Para Kerzner (2001) a maturidade em gestão de projetos pode ser definida como o desenvolvimento de sistemas e processos que são por natureza repetitiva e garantem uma significativa probabilidade de que cada um deles tenha sucesso. Entretanto, o autor faz uma observação, assegurando que sistemas e processos repetitivos não são, por si, garantia de sucesso, apenas aumentam a sua probabilidade. Para o autor, as organizações maduras têm a capacidade de organizar e coordenar seus esforços de produção, bem como entregar projetos nos prazos contratados, a partir de uma estratégia bem consolidada. Todas as empresas atravessam seu próprio processo de maturidade. O aprendizado para a maturidade se dá ao longo dos anos.

Pullen (2007) cita que os modelos podem ser definidos como uma coleção estruturada de elementos que descrevem as características dos processos eficazes em diferentes estágios de desenvolvimento. Ele também sugere pontos de demarcação entre etapas e métodos de transição de uma fase para outra.

De acordo com Wendler (2012), para um melhor entendimento desse assunto, é necessário ter um olhar atento para os modelos de maturidade sob três perspectivas:

- Compreensão dos termos básicos como "maturidade" e "capacidade".
- Aplicação e os benefícios.
- Estrutura e componentes.

Segundo McBride (2010), o conceito de maturidade foi aplicado a processos organizacionais, independentemente do estágio do ciclo de vida da organização. Maturidade divergiu da sua reflexão inicial sobre a experiência e o progresso relativo de uma organização, em vez de ter sido utilizado mais como uma indicação do potencial de desempenho em algum domínio. Geralmente, a

maturidade é visto como desejável e indicativo de um melhor desempenho organizacional através de uma melhor performance do processo.

Ao longo do tempo vários modelos de maturidade em gestão têm sido propostos, sejam eles destinados para a evolução geral ou para um setor das organizações. Os modelos diferem, sobretudo no número de níveis, variáveis de evolução e área de atuação. Cada modelo possui suas próprias características que definem os diferentes níveis de maturidade.

A utilização dos modelos de maturidade nas organizações resulta em benfeitorias. Em primeiro lugar, os modelos de maturidade geram uma consciência dos aspectos analisados: o seu estado, importância, potencialidades, necessidades, complexidade, e assim por diante. Além disso, eles podem servir como um quadro de referência para implementar uma sistemática e bem orientada abordagem de melhorias, garantir uma certa qualidade, evitar erros, e avaliar suas próprias capacidades numa base comparável (Kohoutek, 1996 e Davies, 2007).

3.2

Modelos de maturidade: Literatura

O tema continua merecendo estudos na comunidade científica como se pode observar nos exemplos a seguir. Wendler (2012) apresentou um estudo de mapeamento no campo de pesquisa sobre modelos de maturidade, abrangendo o período de 1993 a 2010. Foram 2019 artigos analisados, dos quais 237 selecionados. Souza e Gomes (2015) apresentaram um estudo com o objetivo de analisar a produção científica sobre gerenciamento de projetos em relação aos modelos de avaliação de maturidade mais expressivos nas organizações. O período avaliado foi de 2010 a 2014. Foram 217 artigos analisados, dos quais 135 selecionados. Os trabalhos de Wendler (2012) e Souza e Gomes (2015) mostraram um interesse contínuo e crescente no tópico maturidade.

Na literatura há uma vasta gama de diferentes modelos de maturidade desenvolvidos para vários campos de aplicação, tais como: Modelos de maturidade nos domínios da gestão de projeto e de processo; Modelos baseados em gestão de qualidade; Modelos de análise de Maturidade para verificar o estado dos processos de negócio.

Alguns dos modelos, relevantes para a abordagem apresentada, conhecidos na literatura serão apresentados nesse capítulo.

Uma das primeiras publicações a tratar do tema maturidade foi a de Crosby (1979), onde foi proposto um modelo fundamentado em uma escala com cinco níveis para avaliar o desenvolvimento da qualidade dos processos. Cada nível possui um conjunto de referências abordando atitude e compreensão da gestão, estado da qualidade organizacional, tratamento dos problemas, custo da qualidade, ações de melhoria, postura em relação à qualidade.

Nas áreas de desenvolvimento e engenharia de software, os modelos CMM (*Capability Maturity Model*) e CMM-I (*Capability Maturity Model Integration*) têm sido os mais amplamente utilizados (Bouer e Carvalho, 2005). Esses modelos têm permitido às organizações conduzirem avaliações do nível de maturidade e capacidade em gestão de projetos de software.

Os modelos CMM e CMM-I foram desenvolvidos pela Carnegie Mellon University em parceria com a SEI – Software Engineering Institute. O CMM, cuja versão integral foi publicada em 1993, apresenta cinco níveis de maturidade, sendo cada um deles caracterizado por um conjunto de áreas-chave cuja estruturação é considerada necessária para o projeto e desenvolvimento de softwares. Os cinco níveis de maturidade contemplados pelo modelo CMM são: nível 1 – Inicial; nível 2 – Repetitivo; nível 3 – Definido; nível 4 – Gerenciado e; nível 5 – Otimizado. De acordo com Rosemann e Bruin (2005) o CMM tem se popularizado e se expandido para uma série de outras disciplinas, entre as quais é possível citar: gerenciamento de infraestrutura de TI, gestão de arquitetura organizacional, gestão do conhecimento e gerenciamento de projetos.

O modelo CMM-I tem duas formas de representação: a estagiada e a contínua. No modelo CMM-I estagiado, da mesma forma que o modelo CMM, possui cinco níveis de maturidade, sendo: nível 1 – Inicial; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Definido, nível 4 – Quantitativamente Gerenciado; e nível 5 – Otimizado. Para cada nível de maturidade são definidos conjuntos de requisitos estruturais das áreas-chave de processo. A representação por estágios utiliza conjuntos predefinidos de áreas de processo para definir um caminho de melhoria para uma organização. Esse caminho de melhoria é caracterizado por níveis de maturidade. Cada nível de maturidade contém um conjunto de áreas de processos

que caracterizam diferentes comportamentos organizacionais. A representação por estágios oferece uma forma sistemática e estruturada para abordar a melhoria de processo, baseada em modelo, enfocando um estágio por vez. A conquista de cada estágio assegura que foi estabelecida uma infraestrutura adequada de processos que servirá de base para o próximo estágio (CMMI® para Desenvolvimento – Versão 1.2, 2014).

No caso do modelo CMM-I contínuo, o que se obtém é um perfil de maturidade da organização, ou seja, uma avaliação do nível de maturidade de cada uma das áreas-chave de processo. Segundo o modelo CMM-I contínuo, há seis níveis de maturidade para cada área de processo, a saber: nível 0 – Incompleto; nível 1 – Realizado; nível 2 – Gerenciado; nível 3 – Definido; nível 4 – Quantitativamente Gerenciado e; nível 5 – Otimizado. A representação contínua permite que a organização escolha uma determinada área de processo (ou grupo de áreas de processo) e melhore processos relacionados a ela. Essa representação utiliza níveis de capacidade para caracterizar a melhoria associada a uma área de processo em particular. A representação contínua oferece máxima flexibilidade na utilização de um modelo CMMI para melhoria de processo. Uma organização pode focar na melhoria do desempenho de um ponto problemático associado a um processo isolado, ou pode trabalhar em várias áreas que estejam fortemente ligadas aos objetivos estratégicos da organização. A representação contínua também permite que uma organização melhore diferentes processos com diferentes ênfases ao longo do tempo. A Tabela 1 compara as vantagens de cada representação e pode auxiliar na determinação da representação mais adequada para a organização (CMMI® para Desenvolvimento – Versão 1.2, 2014).

Tabela 1: Vantagens entre as representações contínua e por estágios.

Representação Contínua	Representação por Estágios
Permite livre escolha da sequência de melhorias, de forma a melhor satisfazer aos objetivos estratégicos e mitigar as áreas de risco da organização.	Permite que as organizações tenham um caminho de melhoria predefinido e testado.
Permite visibilidade crescente da capacidade alcançada em cada área de processo.	Foca em um conjunto de processos que fornece à organização uma capacidade para cada nível de maturidade.
Permite que melhorias em diferentes processos sejam realizadas em diferentes níveis.	Resume os resultados de melhoria de processo em uma forma simples: um único número que representa o nível de maturidade.
Reflete uma abordagem mais recente que ainda não dispõe de dados para demonstrar seu retorno do investimento.	Baseia-se em uma história relativamente longa de utilização, com estudos de casos e dados que demonstram o retorno do investimento.

Fonte: CMMI® para Desenvolvimento – Versão 1.2 (2014).

Berssaneti e Carvalho (2015) destacam que nas últimas duas décadas, vários projetos de modelos de maturidade foram desenvolvidos. A maioria deles são com base no Guia do Project Management Body of Knowledge (PMBOK), que possui um conjunto de práticas organizado pelo instituto PMI (Project Management Institute). Dentre eles, dois modelos podem ser destacados o OPM3 (*Organizational Project Management Maturity Model*) e o PMMM (*Project Management Maturity Model*).

O OPM3 foi lançado em 1998 pelo instituto PMI. O modelo ajuda a organização a desenvolver a capacidade de apoio ao processo macroempresarial de gestão de todos os projetos, relacionando esses projetos com a estratégia corporativa.

Segundo Prado (2008), o modelo OPM3 é constituído dos seguintes elementos:

- **Conhecimento:** este elemento descreve o gerenciamento de projetos organizacional e a maturidade em gerenciamento de projetos organizacional.
- **Avaliação:** este elemento apresenta métodos, processos e procedimentos pelos quais uma organização pode autoavaliar sua maturidade. Trata-se de um questionário com 151 questões por meio do qual é possível identificar as

forças e fraquezas da organização relativamente a um conjunto de Melhores Práticas.

- Aperfeiçoamento: este elemento fornece um processo para se mover da atual maturidade para um nível maior.

Dentre os vários aspectos do modelo OPM3 destacam-se:

- O OPM3 efetua a ligação entre o planeamento estratégico da organização e os seus projetos. Os resultados podem ser mais bem avaliados, pois estão ligados diretamente ao sucesso da organização.
- Permite a identificação de quais Melhores Práticas e Capacitações a organização possui e não possui. Essas práticas originadas do banco de dados desenvolvido pelo PMI, também permitem a identificação de quais melhores práticas e capacitações devem ser implementadas para que as estratégias da organização sejam atingidas por meio dos projetos bem-sucedidos.

O OPM3, através da realização de projetos, refere-se ao aproveitamento dos conhecimentos, habilidades, ferramentas, e técnicas para atingir as metas estratégicas da organização. Os processos do OPM3 abordam três domínios: Projetos, Programas e Portfólios (PPP), para ordenar as estratégias organizacionais. Cada domínio possui características próprias que os distinguem, possuindo seus próprios processos de gerenciamento.

De acordo com Berssaneti e Carvalho (2015) o modelo foi atualizado em 2008 com a publicação de sua segunda edição, e o número de questões foi reduzido para 125 perguntas. A principal mudança que ocorreu entre a primeira e a segunda edição é que esta última também avaliou os critérios organizacionais (recursos estruturais, culturais, tecnológicos e humanos) e analisou as fases do ciclo de vida, no âmbito de projetos, programas e portfólio.

O modelo PMMM elaborado por Kerzner é composto de cinco níveis, sendo eles: nível 1 – Linguagem Comum; nível 2 – Processos Comuns; nível 3 – Metodologia Singular; nível 4 – Benchmarking; e nível 5 – Melhoria Contínua. Cada nível representa um grau diferente de maturidade em gerenciamento de projetos. A Figura 5 ilustra os cinco níveis de maturidade do modelo PMMM. A

avaliação da maturidade para cada um desses cinco níveis é realizada por meio de questionários específicos (Kerzner, 2001).

O PMMM combina a estrutura e níveis de maturidade do modelo CMM com a estrutura de áreas de conhecimento do PMBOK. Este modelo detalha os cinco níveis de desenvolvimento para o alcance da excelência em gerenciamento de projetos.

Para o nível 1, Linguagem Comum, aplica-se um questionário com 80 questões que cobre todas as principais áreas de conhecimento do PMBO K. Os resultados finais da aplicação do questionário permitem à organização obter um retrato do seu nível de maturidade no que diz respeito à linguagem comum para o gerenciamento de projetos.

Para o nível 2, Processos Comuns, a organização reconhece que os processos comuns precisam ser definidos e desenvolvidos de tal forma que o sucesso em um projeto pode ser repetido em outros projetos. As principais características desse nível são:

- Reconhecimento dos benefícios do gerenciamento de projetos;
- Suporte organizacional para todos os níveis;
- Reconhecimento da necessidade de processos e metodologias;
- Reconhecimento da necessidade de um controle de custos;
- Desenvolvimento de um currículo de treinamento em gerenciamento de projetos.

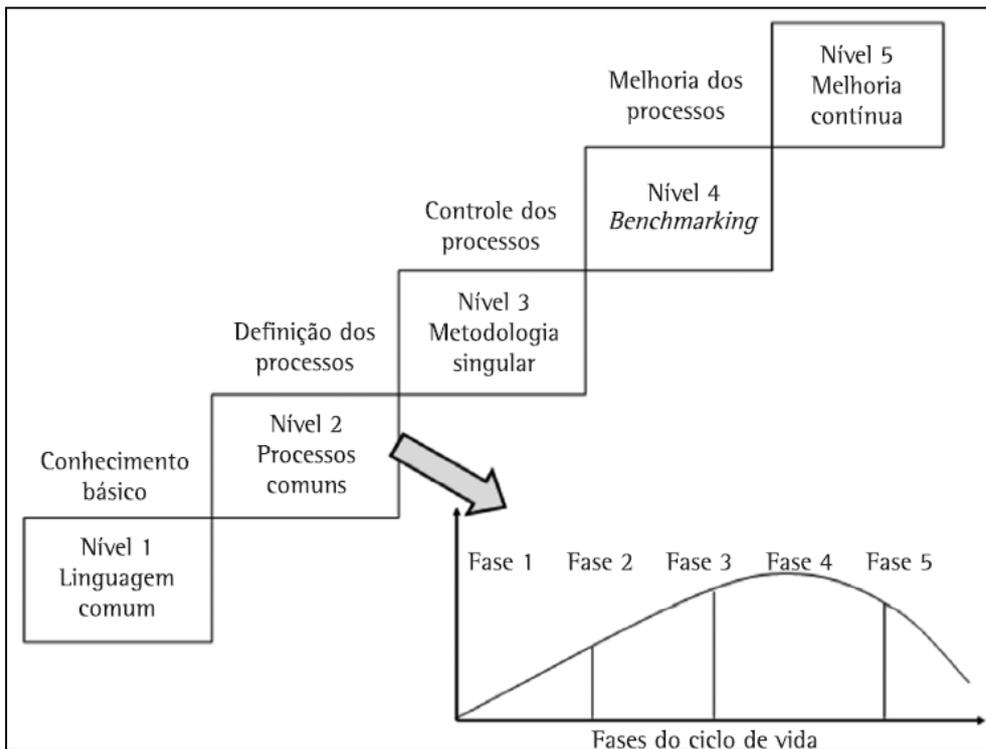


Figura 5: Os cinco níveis de maturidade do modelo PMMM.
 Fonte: Adaptado de Kerzner (2001).

O nível 2 do modelo PMMM, Kerzner (2001) identifica um ciclo de vida do gerenciamento de projetos que pode ser decomposto em cinco fases distintas: embrionária, aceitação pela alta administração, aceitação pela gerência, crescimento e maturidade. A fase embrionária refere-se ao reconhecimento da importância do gerenciamento de projetos para a empresa. Significa que a organização começa a entender e reconhecer os benefícios do gerenciamento de projetos, principalmente nos níveis operacionais e de supervisão da organização. As duas fases seguintes, aceitação pela alta administração e pela gerência, são alcançadas quando os conceitos e práticas do gerenciamento de projetos são amplamente aceitos pelos executivos e tornam-se visíveis o suporte e o comprometimento da liderança da organização. Na fase crescimento ocorre o reconhecimento da utilidade das fases do ciclo de vida, o desenvolvimento de uma metodologia de gestão de projetos e o comprometimento com o planejado. Por fim, a fase maturidade é alcançada quando se tem desenvolvido um sistema de controle gerencial de custo e programação, além de um programa de ensino para melhorar as competências em gestão de projetos.

Kerzner (2001) aponta pelo menos seis estímulos para promover o entendimento dos benefícios do gerenciamento de projetos pelos executivos: capital, expectativa dos consumidores, competitividade interna, entendimento do executivo, desenvolvimento de novos produtos, e eficiência/eficácia. De acordo com o autor, a fase de crescimento é a mais crítica, já que se inicia um processo de gerenciamento de projetos, e ressalta que se deve procurar uma padronização nas metodologias para o planejamento, execução e controle dos projetos. A última fase, designada de Maturidade, é difícil de ser alcançada em função de fatores, tais como a resistência da organização em efetuar um rígido controle de prazos e custos com relatórios periódicos dos desvios, o desenvolvimento de uma grade de competência e habilidades em gestão de projetos e a profissionalização da função de gestão de projetos. Um questionário elaborado com 20 perguntas provê uma visão do perfil do ciclo de vida do gerenciamento de projetos.

No nível 3 do modelo, Metodologia Singular, a organização reconhece a possibilidade da integração e combinação de várias metodologias centradas em gerenciamento de projetos. Kerzner (2001) propõe um questionário de 42 questões para avaliar seis características: processos integrados, cultura, apoio e suporte da liderança, treinamento e educação, “redução da burocracia” no gerenciamento de projetos em função da prática de uma metodologia singular pela organização e o reconhecimento da diferença entre os profissionais de linha e gestão de projetos.

O nível 4 do modelo PMMM, Benchmarking, busca analisar, através de 25 questões, o quanto uma organização pode fazer uso do processo e das práticas características do benchmarking para aperfeiçoar o seu gerenciamento de projetos.

O nível 5 de maturidade do PMMM, é atingido através de um processo contínuo de comparação das práticas de gerenciamento de projetos desenvolvidos por uma organização com outras do mercado, de maneira a obter informações que possibilitem a melhoria de seu desempenho para o alcance da excelência. Um questionário composto por 16 questões, aborda os processos e práticas adotados pela organização para resguardar, consolidar, aprimorar e disseminar as lições e o aprendizado acumulado com a execução do gerenciamento de projetos na organização.

Além desses, também surgiram outros, como o MMGP (Modelo de Maturidade em Gestão de Projetos) proposto por Prado em 2002. O Modelo contempla duas versões: uma setorial, que foca nos setores da empresa, e uma organizacional que foca no alcance da maturidade e avaliação da empresa como um todo. O modelo setorial MMGP parte da premissa que em uma organização existem diversos setores com diferentes graus de maturidade. Esse modelo possui um alto grau de aplicabilidade quando comparado aos demais modelos, por ser de cunho setorial (Prado, 2008).

O MMGP é contemplado com cinco níveis de maturidade: inicial, conhecimento, padronizado, gerenciado e otimizado. Esses níveis se relacionam com seis dimensões: conhecimento de gerenciamento, uso de metodologia, informatização, estrutura organizacional, relacionamento humano e alinhamento com os negócios. A tabela 2 ilustra o relacionamento entre os níveis e as dimensões no modelo MMGP.

Tabela 2: Relação entre os níveis e as dimensões da maturidade do MMGP.

Dimensão da Maturidade	Nível de Maturidade				
	1 Inicial	2 Conhecido	3 Padronizado	4 Gerenciado	5 Otimizado
Conhecimentos	Dispersos	Básicos	Básicos	Avançados	Avançados
Metodologia	Não há	Tentativas Isoladas	Implantada e Padronizada	Estabilizada	Otimizada
Informatização	Tentativas Isoladas	Tentativas Isoladas	Implantada	Estabilizada	Otimizada
Estrutura Organizacional	Não há	Não há	Implantada	Estabilizada	Otimizada
Relacionamentos humanos	Boa vontade	Algum avanço	Algum avanço	Algum avanço	Maduros
Alinhamento com estratégias	Não há	Não há	Iniciado	Alinhado	Alinhado

Fonte: MPCM – Maturity by Project Category Model (2014).

A avaliação é realizada por meio de um questionário de 40 questões de múltipla escolha. O resultado indica o percentual de como uma organização ou setor está em relação ao nível de maturidade e dimensão do modelo. Já o modelo direcionado à avaliação corporativa se fixa à organização como um todo e estende sua análise ao gerenciamento de portfólio, programas e projetos e aos setores que

estão fortemente ligados às metas estratégicas sendo formalmente organizados ou não formalmente organizados (Prado, 2008).

Hammer (2007b) publicou o modelo PEMM (*Process and Enterprise Maturity Model*) que estrutura a avaliação da maturidade das organizações e de seus processos através do posicionamento das suas características em níveis de maturidade. Para o autor, toda empresa necessita garantir que seus processos amadureçam e sejam capazes de obter um desempenho superior ao longo do tempo. Para isso é necessário que a empresa desenvolva duas formas de atributos: viabilizadores de processos e capacidades organizacionais.

O nível de maturidade dos processos é obtido através de 5 viabilizadores: Projeto – propósito, contexto e documentação. Executores – conhecimento, habilidades e comportamento. Gestor dos processos - identidade, atividade e autoridade. Infraestrutura - sistemas de informação e recursos humanos. Indicadores - definição e uso.

Para analisar o nível de maturidade da organização, o autor considera 4 capacidades organizacionais: Liderança – ciência, alinhamento, comportamento e estilo. Cultura - trabalho em equipe, foco no cliente, responsabilidade e atitude através da mudança. Especialidade - pessoas e metodologia. Governança - modelo de processos, responsabilidade e integração.

O modelo PEMM é composto de duas matrizes: uma considerando os viabilizadores dos processos e a outra as capacidades organizacionais. Cada uma delas contempla nas linhas os 13 elementos resultantes da subdivisão dos viabilizadores de processos e das capacidades da organização. Nas colunas são 4 os níveis de maturidade sendo, P1, P2, P3 e P4 relacionados aos processos e E1, E2, E3 e E4 aos de organização. Para cada célula da matriz, o autor apresenta as características necessárias para que o nível de maturidade seja atingido. Considerando os viabilizadores necessários para processos e as capacidades necessárias para a organização, há um total de 104 itens para avaliação. Para se enquadrar em cada nível é necessário analisar a característica correspondente.

Hammer (2007b) sugere três cores para verificar o status do componente.

Verde (verdadeiro): Capacidades atendidas. Não há necessidade de muita atenção e não há também impedimento da evolução do processo.

Amarelo (não totalmente verdadeiro): Pontos de atenção. Existem necessidades de ajustes. Revelam áreas nas quais a empresa tem um trabalho considerável a fazer;

Vermelho (totalmente falso): Há capacidades que estão impedindo a melhoria do desempenho. Apresentam obstáculos que impedem a evolução do processo em atingir níveis mais altos.

De acordo com o autor, o modelo pode ser aplicado em diversas situações. Pode ser aplicado em grupos de processos, em processo único ou a um processo e seus subprocessos.

Lianyinga *et al.* (2012) estabeleceram um novo tipo de Modelo de Maturidade de Gestão de Projetos chamado P2CMM, a forma abreviada do gerenciamento de projeto *Capability Maturity Model* baseado na abordagem PRINCE2 (*Projects IN Controlled Environments*). O modelo estabeleceu um sistema de índice quantitativo, adotando o método de marcação de pesquisa online e fácil de manusear, o que pode ser aplicado a todos os tipos de projetos em ambiente diferente. O modelo PRINCE2 é um tipo de abordagem estruturada que pode gerenciar projetos de forma eficaz. De acordo com o autor, ele contém todos os conceitos básicos e os processos que são necessários para o projeto operacional e de gestão.

O PRINCE2 utiliza o método baseado em processo para gerenciar projeto que identifica as atividades de gestão necessárias durante todo o processo de gerenciamento de projetos, assim como também os seus módulos.

O P2CMM inclui todos os conceitos e processos básicos necessários para a gestão e operação do projeto. Pode ser aplicado a vários projetos em qualquer ambiente e fornece um método geral para a organização em que a gestão de projetos e o desenvolvimento de produtos específicos são separados. Este modelo estabelece um sistema de índice de avaliação quantitativa de maturidade em gerenciamento de projetos.

A estrutura do modelo do sistema de índice de avaliação é dividida em três níveis: camada alvo, camada processo e camada subprocesso. Como o modelo é inteiramente baseado no processo de gerenciamento de projetos do PRINCE2, não foi realizada uma análise empírica para o sistema de indexação. Com base nas características do processo e método de gerenciamento de projetos PRINCE2, o

P2CMM divide a maturidade de gerenciamento de projetos em cinco níveis. Cada nível é descrito na tabela 3.

Tabela 3: Níveis de maturidade do P2CMM.

Nível	Maturidade	Descrição
5	Contínuo	A organização é orientada para o projeto. Possuem autoaprendizagem e adaptação. Melhoram continuamente o processo de gerenciamento de projetos.
4	Integração	Organizações coletam e integram dados de gerenciamento de projeto e processo, e, em seguida, analisam quantitativamente, avaliam e armazenam os dados do processo. A equipe do projeto pode começar o treinamento formal para melhorar todo o nível de trabalho em equipe.
3	Gestão	As organizações têm orientações claras, utilizam formalmente o sistema de planejamento e controle, e em tempo oportuno recolhem dados relacionados durante o processo de gerenciamento de projetos.
2	Repetitivo	As organizações não têm orientações claras, falta também controle do processo eficaz e orientação.
1	Cognitivo	As funções organizacionais são isoladas. O sucesso do projeto depende de esforços pessoais. Falta apoio da gerência sênior. Dados do processo de gerenciamento de projetos não podem ser recolhidos e analisados, bem como a capacidade de gestão do conhecimento, organização e partilha de experiência é limitada.

Fonte: Adaptado de Lianyinga *et al.* (2012).

Raza *et al.* (2012) apresentaram um modelo de maturidade especificamente destinado a questões relacionadas com o uso para projetos de código aberto. Em particular, o modelo examina o grau de coordenação entre os projetos de código aberto e seus aspectos de funcionalidade. O modelo foi elaborado com 5 níveis de maturidade: preliminar, reconhecido, definido, otimizado e institucionalizado. O instrumento de medição do modelo contém fatores que foram selecionados a partir de quatro de seus estudos empíricos, que examinam as perspectivas dos usuários do OSS (*Open Source Software* - Software de código fonte aberto), dos desenvolvedores, dos colaboradores e da indústria. A metodologia de avaliação inclui onze fatores chaves, que são agrupados em um conjunto de quatro dimensões: Metodologia da Funcionalidade, Estratégia de Projeto, Avaliação e Documentação. Em particular, a dimensão da Metodologia da Funcionalidade incorpora os requisitos, o *feedback* e a aprendizagem da capacidade de uso relativos ao usuário. A dimensão Estratégia de Projeto abrange Metodologia

Centrada no Usuário, Compreensibilidade, Capacidade de aprendizagem, Operacionalidade e Atratividade e a dimensão Avaliação compreende Funcionalidade dos Relatórios de Erros e Teste de Usabilidade.

Um modelo de maturidade com 5 níveis foi desenvolvido por Oliveira Junior (2010) com base nos três componentes do DDSC (*Demand Driven Supply Chain* - Cadeias de Suprimento Orientadas pela Demanda).

O autor propõe uma estrutura que consiste em uma abordagem de duas fases, conforme ilustrado na Figura 6.

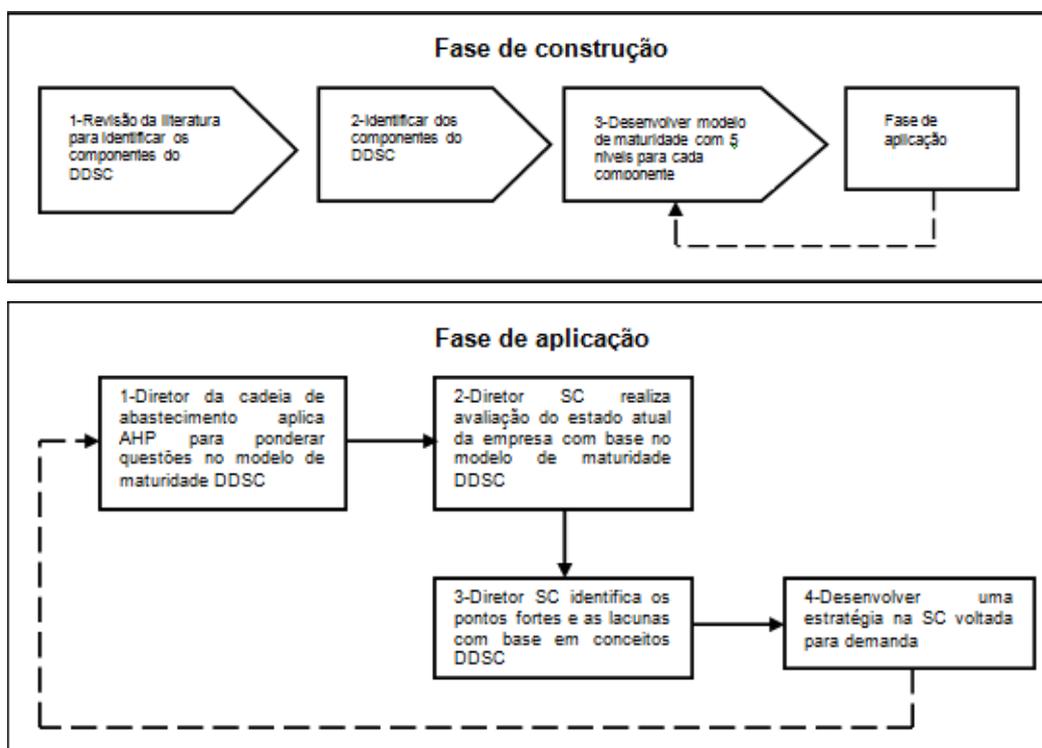


Figura 6 - Metodologia Integrada para avaliar DDSC.

Fonte: Oliveira Junior (2010).

A primeira fase é a chamada "Fase de Construção" e tem como objetivos identificar os componentes do DDSC e desenvolver um Modelo de Maturidade com 5 Níveis para cada componente. A segunda fase é chamada de "fase de aplicação" e tem como objetivo aplicar a estrutura apresentada na figura 4 em diferentes operações e países para identificar o estado atual e desenvolver uma estratégia na cadeia de suprimentos para se tornar uma organização orientada para a demanda.

Os seguintes níveis para o modelo de maturidade foram propostos:

Nível 1 - Operações básicas de *Push* (empurrar). Neste nível, apenas alguns dos fundamentos estão no local, porém a organização não possui todos bem implementados.

Nível 2 - Operação de *Push* Otimizado. Neste nível, todos os fundamentos de uma boa operação estão no local e a organização se beneficia da boa execução dos seus princípios.

Nível 3 - Operação *Push-Pull* (empurrar-puxar) híbrido. Neste nível, a organização começa a se mover de um sistema unicamente *Push* para um sistema híbrido *Push-Pull*, através da implementação de alguns dos conceitos da demanda orientada.

Nível 4 - Operação avançada de *Pull*. Neste nível, a organização já implementou a maioria dos conceitos de demanda orientada e se beneficia de atender a demanda do cliente de uma forma rentável.

Nível 5 - Operação de *Pull* otimizada. Neste nível, a organização não só implementou os conceitos de demanda orientada internamente, mas também expandiu para toda a cadeia de suprimentos em que opera, e melhorias financeiras e de serviços são comprovadas.

De acordo com o levantamento realizado pelo PMSURVEY.ORG (2013) do Project Management Institute, cerca de 77% das empresas entrevistadas utilizam no ambiente organizacional alguma metodologia de gerenciamento de projeto, existe ainda uma parcela significativa, 21% onde o nível do conscientização não esta consolidado e uma minoria, apenas 2%, não usam qualquer metodologia. O gráfico 1 ilustra esse levantamento.

Ainda conforme o PMSURVEY.ORG (2013), o OPM3 foi o modelo de Maturidade de Gestão de Projetos mais usado entre as empresas participantes desse levantamento, 54,2%. Observa-se também, uma participação significativa de novos modelos de maturidade em uso, 32,4%, conforme gráfico 2.

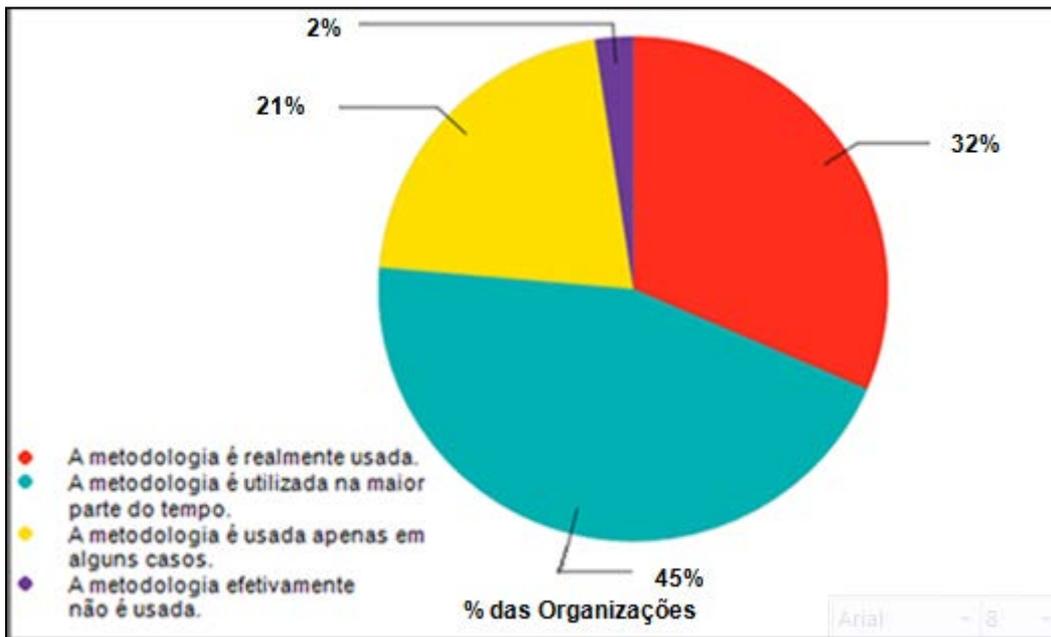


Gráfico 1: Utilização das metodologias de gerenciamento de projetos nas organizações.
Fonte: PMSURVEY.ORG (2013).

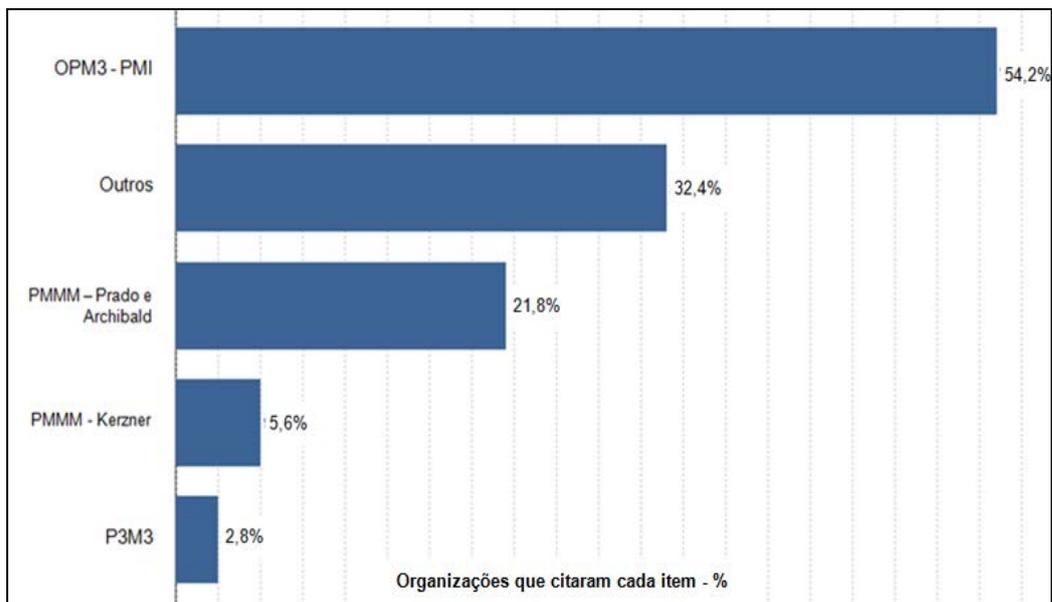


Gráfico 2: Modelos de Maturidade de Gestão de Projetos em uso.
Fonte: PMSURVEY.ORG (2013).

A tabela 4 apresenta um resumo dos modelos de maturidade abordados nesse capítulo com as suas estruturas e formas de avaliação.

Tabela 4: Resumo dos modelos de maturidade apresentados no capítulo 3.

Modelo	Estrutura	Avaliação
CMM	Hierárquico com 5 níveis	Cada nível possui seu conjunto de requisitos.
CMM-I Estagiado	Hierárquico com 5 níveis	
CMM-I Contínuo	Hierárquico com 6 níveis	
OPM3	Não Hierárquico	Os processos abordam 3 domínios: Projetos, Programas e Portfólios.
PMMM	Hierárquico com 5 níveis	Cada nível possui seu conjunto de requisitos.
MMGP	Hierárquico com 5 níveis	Conhecimento, Metodologia, Informatização, Estrutura Organizacional, Relacionamentos Humanos e Alinhamento com Estratégias.
PEMM	Duas matrizes com 4 níveis hierárquicos	Processos: Projeto, Executores, Gestor dos Processos, Infraestrutura e Métricas. Organização: Liderança, Cultura, <i>Expertise</i> e Governança.
P2CMM	Hierárquico com 5 níveis	Cada nível possui seu conjunto de requisitos.
OSS-UMM	Hierárquico com 5 níveis	Metodologia de Usabilidade, Estratégia de Projeto, Avaliação e Documentação.
DDSC	Hierárquico com 5 níveis	Gestão da demanda e oferta, de operações e do ciclo de vida do produto.

De uma maneira geral, podemos, em resumo, considerar que os modelos de maturidade são ferramentas úteis para abordar questões como autoavaliação, desempenho e estratégias de evolução. Um modelo de maturidade é composto por uma sequência de níveis, representando um caminho de evolução em forma de estágios discretos para as organizações ou processos. A fase inferior representa um estado inicial, que pode ser, por exemplo, caracterizado por uma organização com pequenas capacidades no domínio considerado. Em contraste, o mais elevado estágio representa um nível de total maturidade. Avançar no caminho da evolução entre os dois extremos envolve uma progressão contínua das capacidades de organização e seu desempenho nos processos analisados. O modelo de maturidade serve de escala para a avaliação da posição no caminho da evolução. Ele fornece critérios e características que precisam ser seguidos para chegar a um nível de

maturidade particular. Durante uma avaliação de maturidade, é feito um retrato da organização em relação aos critérios apresentados. As características encontradas são avaliadas para identificar o nível adequado de maturidade individual da organização. A aplicação de modelos de maturidade pode ser feita através de procedimentos pré-determinados, como, por exemplo, por meio de questionários. Com base na análise dos resultados da aplicação de um modelo, será feita então uma classificação, podendo também ser feitas recomendações, para que medidas de melhorias possam ser adotadas, de forma a alcançar níveis mais elevados de maturidade.

A falta de maturidade nas organizações, em geral, levou ao desenvolvimento de muitos processos e métodos que têm sido documentados e avaliados. No entanto, como mostra a literatura, não existe uma metodologia única e integrada para avaliar a maturidade e o desempenho de uma organização durante todo o seu ciclo de vida. Portanto, não existe, de forma absoluta, um modelo padrão, mas um modelo adequado, aquele que melhor se aplica em uma organização específica.

No capítulo seguinte, será abordado o tema da avaliação e seleção dos softwares de simulação.

Avaliação e seleção dos softwares de simulação

Atualmente os mercados ofertam uma variedade de softwares de simulação. Alguns possuem custos menores do que outros. Uns são genéricos e podem ser usados em uma larga variedade de áreas de aplicação enquanto que outros são mais específicos. Alguns são mais completos para modelagem enquanto outros fornecem somente características básicas. As empresas estão buscando conselhos sobre as características desejáveis de software para simulação de produção, dependendo da finalidade dos seus usos. Por isso, a importância de uma adequada abordagem para selecionar um software de simulação (Gupta et al., 2010).

Simulação tornou-se uma metodologia conhecida e a seleção de um software adequado é uma das decisões que qualquer gestor pode enfrentar no trabalho. Portanto, a escolha correta de um simulador é de extrema importância, já que uma seleção incorreta pode levar a consequências negativas nos resultados e, por conseguinte, sobre o desempenho organizacional.

A crescente variedade dos softwares de simulação no mercado faz com que a seleção de um deles seja uma decisão crítica. Devido a isso, a importância de uma abordagem adequada para avaliação e seleção de um software de simulação é necessária (Azadeh et al., 2010).

Uma revisão bibliográfica desenvolvida neste capítulo tem como finalidade apresentar os métodos propostos para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos. Esta avaliação não é realizada com o objetivo de descobrir qual o melhor simulador existente no mercado, porque tal termo, “o melhor”, não é usual no contexto de softwares de simulação. A principal razão para esta afirmação está na constante atualização dos softwares existentes e no lançamento dos novos produtos.

4.1

Softwares de simulação disponíveis comercialmente

Diferentes softwares de simulação de eventos discretos estão disponíveis no mercado. Um levantamento publicado no *Simulation Software Survey* (ORMS TODAY, 2015) pode auxiliar na coleta de informações, pois apresentam resumidamente as principais características de diversos softwares de simulação, como: descrições gerais, principais recursos, aplicações típicas do software, principais mercados para os quais se aplica o software, suporte / treinamento, preço, animação, entre outras. Devido a estas diferenças, nenhum software de simulação é adequado para ser utilizado em todos os tipos de problemas de fabricação. Portanto, é necessário escolher o software de simulação mais apropriado para a aplicação específica em estudo.

A tabela 5 encontra-se publicada no *Simulation Software Survey* (ORMS TODAY, 2015) onde apresentam os simuladores comerciais com suas aplicações típicas e mercados onde são utilizados.

Tabela 5: Aplicações específicas dos principais softwares de simulação.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
aGPSS	aGPSS Simulation System Education	Simulação de eventos discretos com propósito geral em situações com incerteza, exigindo várias execuções	Educação, negócios, logística e sistemas de cadeia de suprimentos.
Analytica	Lumina Decision Systems, Inc	Todos os tipos de modelagem e de apoio à decisão, incluindo a análise de decisão, incerteza, risco, otimização.	Economia, energia, meio ambiente, engenharia, educação, financeiro, planejamento de operações, gerenciamento de projetos.
AnyLogic	AnyLogic North America	Ferramenta de simulação de uso geral multimétodo. Evento discreto, <i>Agent-Based</i> , e modelagem de sistema dinâmico.	Cadeias de suprimentos, logística, saúde, manufatura, circulação de pedestres, sistema de defesa, de marketing, processos sociais, e muito mais.
Arena Professional Edition	Rockwell Automation	Arena é usado para simular e analisar os sistemas existentes e propostos, bem como análise operacional.	Manufatura, cadeia de suprimentos, governo, assistência médica, logística, alimentos e bebidas, embalagem, mineração, Call Centers.
Arena Standard Edition	Rockwell Automation	Arena é usado para simular e analisar os sistemas existentes e propostos, bem como análise operacional.	Manufatura, Cadeia de suprimentos, governo, assistência médica, logística, alimentos e bebidas, de embalagem, de mineração, Call Centers.
Argo	Booz Allen Hamilton	Planilha de cálculo baseada em simulação de Monte Carlo	Finanças, análise de custos, Engenharia.
BLUESSS simulation package	Stanislaw Raczynski	Simulação de eventos discretos e contínuos	Engenharia, ensino.
CircuitLogix	Logic Design Inc.	Simulação de circuitos elétricos e eletrônicos	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.
CSIM 20	Mesquite Software, Inc.	Simulação de sistema	Sistemas de computadores e de comunicação, educação.
DiscoverSim Version 2	SigmaXL, Inc.	Simulação de Monte Carlo com Excel e otimização global	Qualidade, Projeto Six Sigma, Risco e Gestão de Projetos.
DPL	Syncopation Software	Análise de decisão para investimento de capital, a priorização de R & D, análise de risco, simulação de Monte Carlo, valorização.	Farmacêutica, óleo e gás, energia, desenvolvimento de novos produtos, meio ambiente, serviços públicos.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2015).

Tabela 5 (continuação): Aplicações específicas dos principais softwares de simulação.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
Enterprise Dynamics	INCONTROL Simulation Solutions	Fabricação, manuseio de materiais, logística.	Fabricação, manuseio de materiais, logística.
Enterprise Portfolio Simulator (EPS)	ProModel Corporation	Análise de simulação baseada na rede de vários planos, projeto simultâneos / produtos através de um ou mais portfólios de projetos.	Projeto e Planejamento de Portfólio; Estratégia de Recursos e Planejamento de Capacidade; Desenvolvimento de Produto, R e D; Seleção de Projeto e priorização.
Epicenter SaaS Platform	Forio	Importar modelos de negócios, desenvolver interfaces de usuários sofisticadas, experiência com cenários para a execução de processos de negócios.	<i>Enterprise e Higher Ed.</i> - Gestão da Mudança, L e D, Inovação, Gestão de Projetos, Experiência do Cliente e ciclo de vida.
ExtendSim AT	Imagine That Inc.	Processos de eventos discretos: linhas de produção, cadeias de suprimento, <i>Lean / Six Sigma</i> , <i>call centers</i> , logística, salas de emergência, transporte.	Fabricação, Negócios, Saúde, Segurança e Defesa, Transporte, Farmacêutica, Eng Ambiental e Verde, Comunicação.
ExtendSim Suite	Imagine That Inc.	Confiabilidade, Processos de alta velocidade / volume, linhas de embalagem, <i>Agent-Based</i> , fluxos de processos, projeto do sistema, Análise prescritiva.	Alimentos e Bebidas, Manufatura, Energia, Petróleo e Gás, Mineração, Papel e Celulose, Governo e Setor Público, Vendas, Apresentação de gerenciamento.
FlexSim	FlexSim Software Products, Inc.	Simulação e modelagem de qualquer processo, com o objetivo de analisar, compreender e otimizar o processo.	Fabricação, embalagem, armazenagem, manuseio de materiais, cadeia de suprimentos, logística, saúde, fábrica, indústria aeroespacial, mineração.
FlexSim Healthcare	FlexSim Software Products, Inc.	Simulação e modelagem para analisar, otimizar e entender melhor os sistemas de saúde.	Assistência médica, sistemas de saúde, arquitetura.
GoldSim	GoldSim Technology Group	Análise de risco em engenharia, planejamento estratégico, projetos, gestão de recursos hídricos, gestão de resíduos.	Engenharia ambiental, mineração, recursos hídricos, energia, nuclear, gestão dos resíduos.
GPSS/H	Wolverine Software	De uso geral para simulações de eventos discretos.	Mineração e logística.
Integrated Performance Modelling Environment	Alion Science & Technology	Modelagem do desempenho humano	Defesa, fabricação, controle de tráfego aéreo.
JaamSim	Ausenco	Software de fonte aberta para eventos discretos e contínuos. Fácil, rápido e ajustável para os maiores modelos.	Fabricação, educação, pesquisa, etc.
LogixSim	Logic Design Inc.	Suíte de simulação e teste, depuração e programação de eletrônicos, PLCs, Robótica.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.
MedModel	ProModel Corporation	Otimização de processos e melhoria, utilização de recursos, capacidade de sistema e produção.	Assistência médica e ciências da vida.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2015).

Tabela 5 (continuação): Aplicações específicas dos principais softwares de simulação.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
Micro Saint Sharp	Alion Science and Technology	Ferramenta de uso geral. Melhoria de processos / otimização, justificativa de custo, implementações <i>lean</i> , humano / sistema de desempenho.	Assistência médica, Desempenho Humano, Cadeias de Suprimentos, Manufatura, Defesa, Marketing, Finanças, Energia, Educação, Transporte.
ModelRisk - Industrial Edition	Vose Software BVBA		
ModelRisk - Professional Edition	Vose Software BVBA	Análise de risco avançado utilizando simulação e otimização Monte Carlo com Excel.	Ciência; Engenharia; Gás de petróleo; Farmacêutica; Utilidades; Aeroespacial / Defesa; construção; fabricação; negócio; Mineração / Metais.
ModelRisk - Standard Edition	Vose Software BVBA	Análise de risco simples usando simulação de Monte Carlo com Excel.	Aeroespacial e Defesa; construção; fabricação; governo; negócio; Mineração e Metais.
Oracle Crystal Ball	Oracle Corporation	Simulação de Monte Carlo, otimização e previsões com séries temporais.	Negócio, financeiro, energia, farmacêutica, ambiental, saúde, defesa, fabricação, educação, telecomunicações.
Patient Flow RX	ProModel Corporation	Estratégia da gestão dos recursos e fluxo dos pacientes.	Assistência médica.
Pedestrian Dynamics	INCONTROL Simulation Solutions	Gestão e controle de multidões	Arquitetos, gerentes, AEC, proprietários de unidades, Emergência e Segurança, Escolas.
PLCLogix	Logic Design Inc.	Projetos, teste, depuração de controlador lógico programável (CLP) utilizando simulação 3D realista.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.
Polaris	Booz Allen	Polaris é uma solução integrada de custos, análise de risco e Monte Carlo.	Todos os mercados com projetos complexos, incluindo, Construção, TI, Energia, DOD.
Process Simulator	ProModel Corporation	<i>Lean</i> , <i>SixSigma</i> , mapeamento do fluxo de valor, mapeamento de processos, simulação de fluxograma, melhoria contínua dos processos	Todos.
ProModel Optimization Suite	ProModel Corporation	Otimização de processos e melhoria, utilização de recursos, capacidade do sistema e produção.	Fabricação, produção, cadeia de suprimentos e logística, assistência médica e ciências da vida.
Proof Animation (2D animation = P5, 3D = P3D)	Wolverine Software	Animação simultânea/processada de modelos de simulação de eventos discretos.	Logística, transporte, fabricação.
RASON Analytics API	Frontline Systems Inc.	Análise do risco de negócio, as decisões de alocação de recursos em situações de incerteza.	Finanças / investimentos, seguros, indústria farmacêutica, petróleo e gás, alguns aplicativos de consumo.
Risk Solver Pro / Platform	Frontline Systems Inc.	Análise do risco de negócio, as decisões de alocação de recursos em situações de incerteza.	Finanças / investimentos, seguros, indústria farmacêutica, petróleo e gás, ensino MBA.
RoboLogix	Logic Design Inc.	Projetar, testar, depurar programas de robótica industrial utilizando simulação 3D.	Faculdades, universidades, centros de formação técnica.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2015).

Tabela 5 (continuação): Aplicações específicas dos principais softwares de simulação.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
SAS Simulation Studio	SAS	Simulação de eventos discretos: cadeias de suprimentos, gestão de recursos, planejamento de capacidade, análise de fluxo de trabalho, análise de custos, e muito mais.	Manufatura, bancário, farmacêutico, saúde, energia, agências de governo, varejo, educação, transporte, etc.
Simio Design/Team	Simio LLC	Produto ideal para modeladores e pesquisadores profissionais. Modelagem integrada com animação 3D.	Acadêmico, Aeroespacial e Defesa, Aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, óleo e gás, Cadeia de Suprimentos, Transporte.
Simio Enterprise Edition	Simio LLC	Aumenta seu modelo de ciclo de vida com uma única ferramenta que constrói modelos com extensão em Planejamento e Programação Baseada em Risco	Acadêmico, Aeroespacial e Defesa, Aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, óleo e gás, Cadeia de Suprimentos, Transporte.
Simio Express	Simio LLC	Poderoso, totalmente funcional baseada em modelagem integrada com animação 3D capaz de fornecer uma modelagem rápida.	Acadêmico, Aeroespacial e Defesa, Aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, óleo e gás, Cadeia de Suprimentos, Transporte.
Simio Portal Edition	Simio LLC	Uma vez que seu modelo é construído, você pode armazená-lo no Portal <i>Edition</i> para executar experiências, criar planos, executar análise de risco e muito mais.	Acadêmico, Aeroespacial e Defesa, Aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, óleo e gás, Cadeia de Suprimentos, Transporte.
SIMPROCESS	CACI	SIMPROCESS é uma ferramenta de modelagem hierárquica que combina mapeamento de processos, simulação de eventos discretos, Custeio Baseado em Atividades.	Militar, governo, empresas, universidades.
SIMUL8 Professional	SIMUL8 Corporation	<i>Lean</i> , Linha de Montagem, planejamento estratégico, BPMN, Linha de balanceamento, Sistemas de Saúde, Serviços Compartilhados, plano de capacidade.	Manufatura, assistência médica, educação, engenharia, cadeia de suprimentos, Logística, Negócios, BPMN, <i>Lean</i> , setor público, <i>Call Centers</i> .
SIPmaker(tm)	ProbabilityManagement.org	Gera bibliotecas SIP a partir de modelos @Risk ou Cristal Ball existentes, também construídos com geradores aleatórios compatíveis com XLSim.	@Risk, Cristal Ball, ou XLSim usuários que querem criar bibliotecas SIP para uso em outras aplicações.
SIPmath(tm) Modeler Tools	ProbabilityManagement.org	Automatiza a geração de tabela de simulações, dados em Excel. Executa milhares de ensaios, lê bibliotecas SIP.	@Risk, Cristal Ball, e Risk Solver usuários que querem construir versões independentes de suas aplicações em Excel.
SLIM	MJC2	Simulação e planejamento de Logística e cadeia de suprimentos	Todas as operações da cadeia logística, fabricação e fornecimento.
SLX	Wolverine Software	Simulação de evento discreto	Transporte, Controle de Tráfego Aéreo, Manufatura, Logística, Assistência médica.
Solver SDK Pro / Platform	Frontline Systems Inc.	Análise do risco de negócio, as decisões de alocação de recursos em situações de incerteza.	Finanças / investimentos, seguros, indústria farmacêutica, petróleo e gás, alguns aplicativos de consumo.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2015).

Tabela 5 (continuação): Aplicações específicas dos principais softwares de simulação.

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
Stat::Fit	Geer Mountain Software Corp.	Estatisticamente se encaixa aos seus dados, mais útil a distribuição analítica e exportações em formas específicas para simulação.	Simulação e Modelagem, Avaliação de Riscos, Confiabilidade, Qualidade, Engenharia e Gestão Financeira.
Tecnomatix Plant Simulation	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.	Simulação de eventos discretos, visualização, análise e otimização dos fluxos de materiais, utilização de recursos e logística.	Automotivo, Consultoria, Aeroespacial, Logística, Alta tecnologia e Eletrônicos, Maquinário, Assistência médica.
Transportation Logistics Simulator (TLS)	Ausenco	Cadeia logística de abastecimento para a mineração, indústrias de petróleo e gás.	Portos, terminais marítimos, plataformas <i>off-shore</i> , ferrovias, gasodutos, transporte, transbordo, barcaças, petroleiros.
WITNESS	Lanner	Instalações, projetos, Recursos e Otimização de produção.	Manufatura, Óleo e Gás, Saúde, Nuclear e Defesa.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2015).

4.2

Avaliação e seleção dos softwares de simulação: Literatura

O ponto de partida para a pesquisa foi revisar na literatura estudos sobre a avaliação, comparação e seleção dos softwares de simulação.

Banks (1991) apresentou um conjunto de 36 critérios para avaliação dos softwares de simulação de eventos discretos classificados em cinco grupos principais.

Critérios de Entrada:

- Interface com outros softwares
- Capacidade de análise de dados de entrada
- Portabilidade
- Sintaxe
- Flexibilidade de entrada
- Depuração interativa
- Flexibilidade na modelagem (aplicada somente as linguagens de simulação)
- Concisão na modelagem (aplicada somente as linguagens de simulação)

Critérios de Processamento:

- Velocidade de execução
- Tamanho do modelo
- Capacidade de manuseio dos materiais
- Gerador de variáveis aleatórias
- Período de aquecimento
- Replicações independentes
- Atributos
- Variáveis globais
- Programação (possibilidade de incorporar características especiais)
- Roteamento condicional

Critérios de saída:

- Relatórios padronizados com medidas de desempenho
- Relatórios personalizados
- Análise estatística
- Geração de gráficos
- Criação de arquivos
- Capacidade de rastreamento
- Manutenção do banco de dados

Critérios de suporte:

- Facilidade de uso
- Facilidade de aprendizado
- Qualidade da documentação
- Capacidade de animação
- Ajuda *on line*
- Tutorial *on line*
- Suporte ao cliente

Critérios de custo:

- Aquisição do software
- Requisitos de hardware
- Tempo gasto com a aprendizagem do software
- Tempo necessário para construção dos modelos

Baseado nesses critérios, o autor sugere a utilização de um modelo de pontuação para, a partir de uma lista de software, reduzir a busca para três opções. Desta forma, um valor entre 0 e 10 deve ser atribuído para cada critério. Estes então são somados e normalizados definindo um fator de peso. A seguir, estes devem ser avaliados, por meio de uma pontuação de 0 a 1, para cada um dos softwares. A pontuação bruta de cada critério (entre 0 e 1) deve ser multiplicada pelo fator de peso associado e somada para cada uma das opções, obtendo-se uma lista com os softwares ordenados conforme o grau de atendimento aos critérios avaliados. A atribuição dos pesos auxilia na definição dos critérios dispensáveis (peso 0), ou seja, que não serão aproveitados, e critérios essenciais (peso 10) para o sucesso da escolha do software de simulação. Assim, através da aplicação desta metodologia, é possível reduzir o número de opções, que mesmo assim, ainda devem passar por uma cautelosa análise comparativa para a escolha de qual software será usado.

Mackulak *et al.* (1994) realizaram um levantamento por questionário sobre as características mais importantes de um software de simulação. Para facilitar o entendimento, os autores dividiram o questionário em um conjunto de nove critérios, apresentados a seguir: Características gerais, Aquisição e Análise de dados, Desenvolvimento do modelo, Validação e Verificação, Execução, Análise de saída, Documentação, Dados do projeto de simulação e Métodos da interfase do usuário.

Os critérios acima foram divididos em subcritérios perfazendo um total de 54 itens. De acordo com os autores, as principais características identificadas pelos participantes da pesquisa foram: uma interface amigável e consistente do usuário; capacidades de armazenamento de banco de dados para os dados de entrada; um depurador interativo para verificação de erros; interação através do

mouse; uma seção de soluções de problemas na documentação; capacidades de armazenamento dos modelos e resultados da simulação; uma biblioteca de módulos reutilizáveis de código de simulação; e uma exibição gráfica de entrada e saída.

Apesar da exibição gráfica de dados ser importante, a pesquisa apresentou como característica mais solicitada uma interface do usuário consistente e amigável. Para obter ajuda quando ocorrerem problemas, os participantes da pesquisa desejaram na documentação uma boa seção de solução de problemas. Os resultados também indicaram uma necessidade de mais capacidade para armazenar, recuperar e processar seus cenários.

Davis e Williams (1994) apresentaram um artigo sobre avaliação e seleção de softwares de simulação, através do método de análise hierárquica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para uma empresa de engenharia de médio porte do Reino Unido.

A realização do estudo de caso pelos autores tinha dois objetivos: em primeiro lugar, desenvolver a confiança na ferramenta de simulação para apoio à decisão e, em segundo lugar, recomendar um sistema adequado para a empresa.

A fim de determinar os critérios que levariam a seleção de um software de simulação, três ambientes diferentes, mas representativos para essa aplicação foram escolhidos:

- Um módulo de montagem contendo seis células de montagem manual, onde, o foco era sobre a utilização dos recursos, a flexibilidade do trabalho, disponibilidade de capacidade, efeito de avarias, trocas, falhas, retificações e mudanças no cronograma de transferência.
- Um sistema de montagem altamente automatizado, onde a principal preocupação da empresa era como seria capaz de programar o sistema e responder às flutuações da demanda.
- A reformulação do sistema de produção com a atenção voltada para o layout das células de manufatura e do fluxo de material através das instalações dentro das células de manufatura.

Os autores fizeram uso de estudos de casos, com a finalidade de desenvolver uma lista de critérios que pudesse refletir as questões que precisam

ser analisadas na escolha de um software de simulação. Os critérios abordados foram: Custo, Abrangência do sistema, Integração com outros sistemas, Documentação, Treinamento, Facilidade de uso, Hardware e Instalação e Questões relacionadas com a credibilidade do fornecedor.

Uma pesquisa sobre os softwares de simulação de eventos discretos foi realizada pelos autores. Durante este levantamento inicial 14 softwares de simulação foram identificados. Após a revisão das restrições dos softwares e hardwares, verificação da disponibilidade de suporte local e da cobertura de diferentes abordagens sobre simulação, foram reduzidos para 5 softwares a serem avaliados pelo método AHP. A figura 7 ilustra a estrutura hierárquica utilizada.

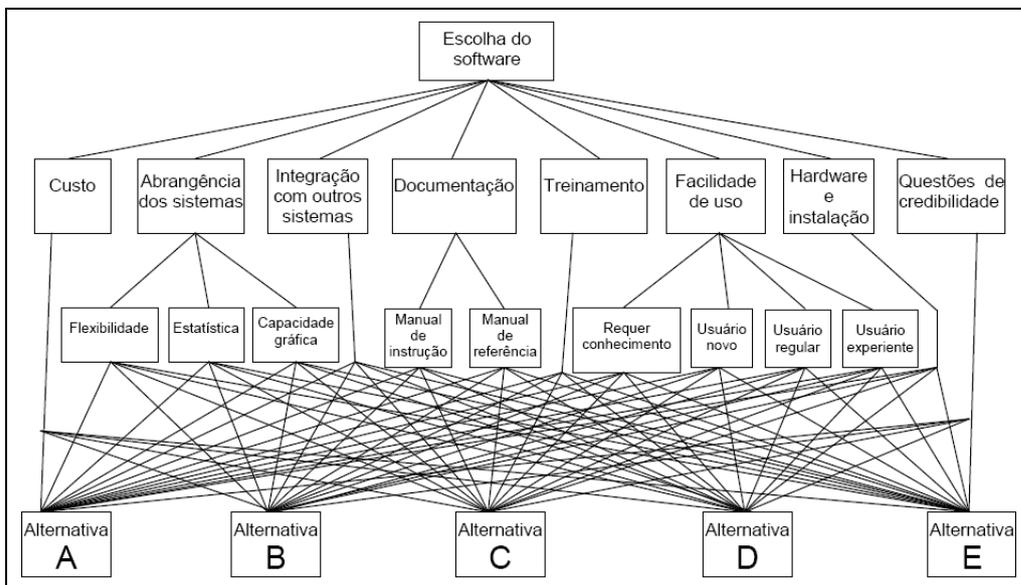


Figura 7: Estrutura hierárquica para seleção do software de simulação.
Fonte: Adaptado de Davis e Williams (1994).

Hlupic *et al.* (1999) elaboraram uma estrutura abrangente para seleção dos softwares de simulação. Os critérios de avaliação são agrupados de acordo com sua natureza, e podem ser de uso prático para qualquer pessoa envolvida na avaliação e seleção dos softwares de simulação. As 13 categorias de critérios são: Características Gerais, Aspectos Visuais, Codificação, Eficiência, Assistência na modelagem, Verificação, Compatibilidade, Entrada/Saída de dados, Módulos de experimentação, Módulos estatísticos, Suporte ao usuário, Aspectos Financeiros/Técnicos e Histórico do fornecedor. Cada categoria de critério foi dividida em subcritérios, formando um total de 266. A metodologia sugerida pelos

autores constituem de 6 etapas a serem seguidas no processo de seleção do software de simulação. Sendo elas;

- Fase 1: Necessidade de adquirir software de simulação
- Fase 2 : Levantamento inicial do software
- Fase 3: Avaliação
- Fase 4: Seleção do software
- Fase 5: Negociação do contrato
- Fase 6: Compra do software

Nikoukaran *et al.* (1999) elaboraram um quadro de critérios a ser considerado quando se avalia um software de simulação de eventos discretos. Este quadro foi estruturado, e possui um rico conjunto de atributos em que os softwares de simulação podem ser comparados. A seleção de simuladores, segundo os autores, pode ser analisada a partir de uma estrutura hierárquica dividida em: fornecedor, software e usuário. O critério do software se refere às formas de desenvolver o modelo, de apresentá-lo visualmente (animação), de realizar execuções e gerar relatórios. O critério do fornecedor pode ser avaliado quanto às características da empresa e serviços oferecidos. Segundo os autores, estes são os elementos mais importantes que devem ser considerados na escolha de um software de simulação, estando no nível mais alto da hierarquia. Os softwares abrangem uma vasta gama de questões que podem ser considerados como subcritérios para a seleção do software como: desenvolvimento do modelo, verificação e validação, execução, animação e saída de relatórios (figura 8). Os autores dividiram os 7 principais grupos em 93 critérios.

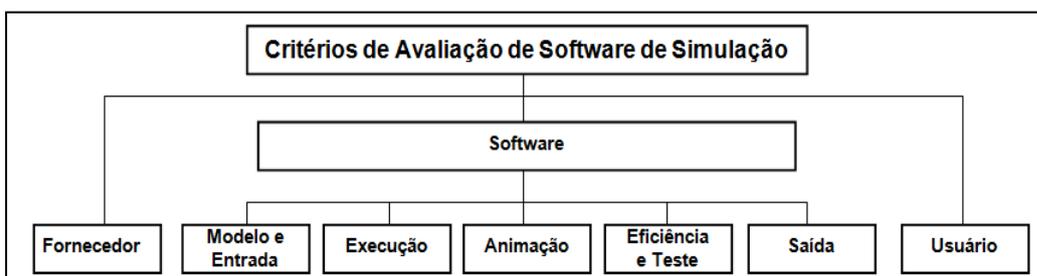


Figura 8: Principais grupos de critérios da hierarquia.
Fonte: Adaptado de Nikoukaran *et al.* (1999).

Os sete grupos com os seus principais critérios são apresentados por esses autores conforme a seguir:

Critérios do Fornecedor

- *Histórico*
- Documentação
- Suporte
- Pré-venda

Critérios de desenvolvimento do Modelo e Entrada

- Biblioteca dos módulos reutilizáveis
- Construção do modelo
- Roteamento condicional
- Codificação
- Distribuições estatísticas
- Regras de filas
- Entrada de dados

Critérios de execução

- Controle de velocidade
- Múltiplas corridas
- Execução *batch* automática
- Período de aquecimento
- Capacidade de reinicialização
- Inicialização em estado não vazio
- Paralela
- Modelos executáveis

Critérios de animação

- Integridade
- Biblioteca de ícones
- Execução

- *Layout* da tela
- Desenvolvimento

Critérios de eficiência e teste

- Rastreamento
- Execução passo a passo
- Validação e verificação
- Relógio reverso
- Multitarefa
- Gerador de modelo conceitual
- Limites
- Aspectos de exibição na tela

Critérios de saída

- Disponibilização
- Relatórios
- Banco de dados
- Integração
- Análises
- Gráficos

Critérios do usuário

- Tipo de simulação
- Orientação
- *Hardware*
- Dispositivo de segurança
- Sistema operacional
- Versão para rede
- Experiência necessária
- Classe do software

O quadro pode ser usado como uma ferramenta para ajudar o usuário a avaliar as características dos softwares. As novas características encontradas podem ser adicionadas à estrutura hierárquica. Desta forma, quanto mais softwares forem testados, mais abrangente a hierarquia se tornará. De acordo com os autores, sem esse quadro pode não ser possível descobrir quais os recursos estão faltando no software que está sendo testado.

A hierarquia pode fornecer ao cliente uma visão melhor das opções e a capacidade para escolher o mais adequado. Os softwares podem ser avaliados com relação a cada ramo da hierarquia por comparação, dando peso diferenciado em cada ramo em função da área de aplicação, encontrando assim, um valor total de cada software como um valor único e então selecionar o mais adequado. De acordo com os autores, uma mudança em um dos critérios somente afetará a avaliação nos ramos selecionados e não a avaliação de todas as partes da hierarquia.

Tewoldeberhan *et al.* (2002) propuseram uma metodologia de duas fases para avaliação e seleção de software de simulação.

Na primeira fase, é criada uma lista de características requeridas e uma vasta quantidade de softwares de simulação de eventos discretos é verificada quanto à disponibilidade desses requisitos. Para realizar essa fase, as seguintes etapas foram adotadas: identificação da visão e dos requerimentos, definição de critérios, ponderação, identificação das características dos softwares de eventos discretos, triagem e classificação. Os critérios adotados nessa fase foram: Fornecedor, Desenvolvimento do modelo e entrada, Eficiência e teste, Execução, Animação, Saída e Usuário. Dessa forma, a primeira fase reduz rapidamente uma longa para uma curta lista de softwares. Os autores relatam que a classificação feita na primeira fase somente verifica se os softwares de simulação atendem aos critérios, ou seja, não é considerada a qualidade. O objetivo desta fase é a seleção dos melhores 10 softwares. Entretanto, isto não significa que o primeiro dessa fase será o primeiro do processo de seleção como um todo.

Na fase dois, os simuladores de eventos discretos são avaliados quanto à sua qualidade. Para realizar essa fase de qualificação, as seguintes medidas são tomadas: seleção de critérios, ponderação dos critérios, elaboração de estudo de caso, realização de experimentos, reunir informações adicionais, classificação dos

softwares, análise de sensibilidade. Os autores dividiram as 7 categorias de critérios em um total de 65 subcritérios, onde os que obtiveram um maior peso para a avaliação da metodologia dentro de cada categoria de critério foram: Construção do modelo gráfico, Distribuição estatística, Entrada de arquivos de textos, Entrada das planilhas, Modo de entrada interativo, Geradores de números aleatórios, Suporte de manutenção, Execução múltipla, Período de aquecimento, Controle de velocidade, Recursos de animação, Verificador de erros, *debugger*, Recurso para exportar dados para planilhas, Recurso para exportar dados para arquivos de texto, Área de aplicação. A segunda fase corresponde às exigências da empresa com relação às características do software de simulação. Ainda de acordo com os autores, a metodologia é objetiva e eficaz e pode ser usada em diferentes domínios de aplicação, já que os procedimentos são genéricos.

Cochran e Chen (2005) apresentaram uma abordagem de multicritérios *fuzzy* para a seleção de software de simulação orientada a objetos para análise de sistemas de produção. A abordagem utiliza operações da teoria dos conjuntos e álgebra de números *fuzzy* para caracterizar os softwares de simulação de modo que a força e a fraqueza de cada alternativa possam ser comparadas. A entrada linguística de especialistas e tomadores de decisão é transformada em números *fuzzy* e os resultados da inferência *fuzzy* são convertidos de volta para a explicação linguística. Além disso, através da ponderação da preferência do tomador de decisão para classificação, um único número para cada software candidato pode ser obtido. Pode-se usar esse número como um índice para escolher o software de simulação mais adequado para a aplicação específica. A figura 9 ilustra a metodologia dos conjuntos *fuzzy*, OOSS (*object oriented simulation software*), para caracterização e seleção do software de simulação orientado a objeto. A abordagem é feita através de um processo contendo oito etapas.

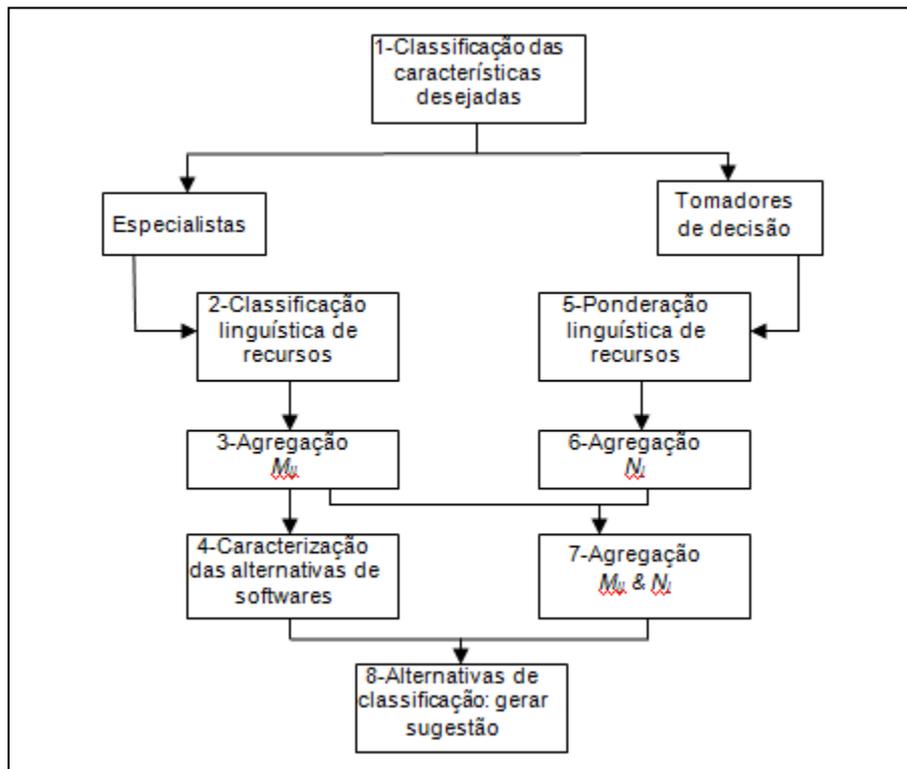


Figura 9: Uma abordagem *fuzzy* para caracterização e seleção de software de simulação orientado a objeto.

Fonte: Adaptado de Cochran e Chen (2005).

Os autores dividiram em 4 categorias de critérios, sendo eles: orientada a objeto, programação, simulação e ambiente. A tabela 6 mostra os detalhes desses critérios.

Uma comparação entre as avaliações, utilizando números *fuzzy* triangulares simples e o conjunto *fuzzy* real foi apresentado. Segundo os autores, esse método pode ser usado em qualquer circunstância onde os critérios e as descrições linguísticas escolhidas possam ser pontuados.

Tabela 6: Características desejadas para software de simulação orientado a objeto.

Orientada a objeto	Programação	Simulação	Ambiente
1-Capacidade do usuário	1-Capacidade do usuário	1-Orientação à modelagem	1-Interface com o usuário
2-Herança	2-Flexibilidade	2-Aquisição de dados	2-Custo
3-Polimorfismo	3-Módulo sub-rotina	3- <i>Debugger</i> interativo	3-Documentação
4-Abstração	4-Estrutura lógica	4-Execução	4-Tutorial
5-Encapsulamento	5-Definição de variáveis	5-Animação	5-Portabilidade
6-Biblioteca de objetos	6-Tipo de dados	6-Analise dos dados de saída	
7-Reutilização		7-Recursos estatísticos	
8-Ligação tardia		8-Recursos para manufatura	
9-Prototipagem rápida			

Fonte: Adaptado de Cochran e Chen (2005).

Azadeh *et al.* (2010) apresentaram uma robusta metodologia de tomada de decisão com base na FAHP (*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*) para avaliar e selecionar o software de simulação apropriado. O método de decisão agrega julgamentos dos especialistas para os critérios de pesos e a adequação das alternativas dos softwares de simulação. O FAHP é usado para priorizar e avaliar as alternativas existentes, com base nos critérios propostos para a escolha do simulador adequado. A metodologia proposta é apresentada na figura 10 e é composta por 6 etapas.

Segundo os autores, o uso do método FAHP para selecionar software pode reduzir ambiguidades e incertezas que são inerentes aos critérios de seleção. A estrutura hierárquica proposta para avaliar e selecionar o software de simulação consiste em quatro níveis. Nível A, demonstra o objetivo final de toda a estrutura hierárquica, que está avaliando e priorizando os softwares de simulação. Nível B contém os critérios de seleção.

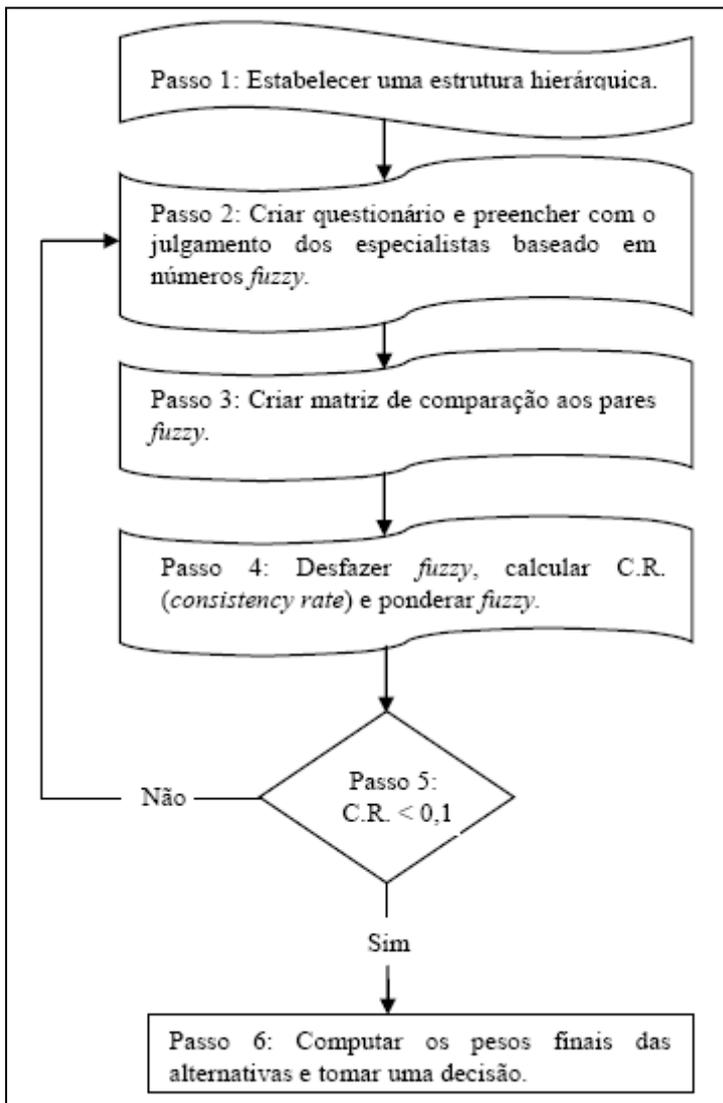


Figura 10: Metodologia proposta com base no FAHP.
 Fonte: Adaptado de Azadeh *et al.* (2010).

Os autores consideraram sete critérios, sendo eles: vendedor, modelo e entrada, execução, animação, testes e eficiência, saída e usuário. O nível C possui um total de 31 subcritérios de seleção. Nível D contém as alternativas que vão ser avaliadas e priorizadas. Seis alternativas diferentes de softwares de simulação foram consideradas neste trabalho: Arena, Automod, SIMUL8, Promodel, Visual Slam, e Witness. Os autores afirmam que esses softwares podem ser substituídos por alternativas existentes com base na aplicação e tipo de simulação, dessa forma a estrutura de hierarquia proposta pode variar um pouco. Por fim, foi realizado um experimento para aplicar essa metodologia na avaliação e seleção do software de simulação através de um caso usando julgamentos de dez especialistas que

trabalharam no campo da simulação e, em seguida, os resultados foram apresentados.

Gupta *et al.* (2010) apresentaram uma avaliação crítica de 4 simuladores de fabricação amplamente utilizados: NX-idéias, Star-CD, Micro Saint Sharp e ProModel. Após uma revisão de pesquisas sobre avaliação de software de simulação, uma avaliação e comparação dos simuladores acima foram realizadas utilizando o Processo de Análise Hierárquica, AHP. Todos eles são simuladores de fabricação orientados a dados, visual e interativos. No entanto, existem muitas diferenças entre estas ferramentas de software. A avaliação foi realizada utilizando 13 grupos principais de critérios contendo mais de 220 itens. Estes grupos são usados como base para classificar os simuladores. Este tipo de abordagem é feita porque se supõe que será mais conveniente e útil avaliar o desempenho geral de cada ferramenta de software em relação a um determinado grupo de critérios, em vez de avaliar cada critério único. Os critérios resultantes podem ser aplicados para a avaliação de qualquer software de simulação de uso geral ou específico. Para este estudo quatro grupos principais são definidos para desenvolver a estrutura de avaliação. Os critérios dentro de cada grupo são ainda classificados em subcritérios, de acordo com suas características. Para este estudo, os quatro grupos principais para o quadro de avaliação foram:

1 - considerações sobre hardware e software: codificação, compatibilidade de software, suporte ao usuário;

2 - capacidades de modelagem: características gerais, assistência de modelagem;

3 - capacidades de simulação: aspectos visuais, eficiência, verificação, instalações de experimentação, instalações estatísticas;

4 - edições de Entrada / Saída: capacidades de entrada e saída, de análise e de fabricação.

De acordo com o tipo de cada um dos critérios, a classificação determina se, por exemplo, uma dada característica existe no software, avalia a qualidade dos recursos oferecidos ou lista tipos de alternativas disponíveis dentro de uma característica particular.

Sawant e Mohite (2011) apresentaram um procedimento para selecionar o software de simulação em ambiente de projeto e de produção para uma

determinada aplicação. O procedimento é baseado no índice de seleção de preferência, PSI (*preference selection index*), e na técnica de preferência de ordem por similaridade com a solução ideal, TOPSIS (*technique for order preference by similarity to ideal solution*). Um índice de seleção de software de simulação foi proposto. Este índice avalia e classifica os softwares para a aplicação dada. A eficácia e a viabilidade do método foram demonstradas através da ilustração e validação dos resultados. Os critérios ou atributos, conforme os autores, de seleção dos softwares de simulação foram definidos como sendo os fatores que influenciam a seleção para uma determinada aplicação. Estes atributos incluem considerações de hardware e software, capacidades de simulação, considerações econômicas. Neste trabalho, cada atributo inclui outros subatributos, de acordo com a tabela 7.

Tabela 7: Avaliação dos atributos e subatributos na estrutura de tomada de decisão.

Atributos	Subatributos
Hardware e software	Técnicos, Codificação, Compatibilidade, Suporte, Risco tecnológico, Integração.
Simulação	Animação, Aspectos Visuais, Testabilidade, Recursos para experimentação, recursos estatísticos, Programação.
Econômicos	Custo, Flexibilidade, Suporte, Treinamento, Facilidade de implementação, Expansões futuras.

Fonte: Adaptado de Sawant e Mohite (2011).

No desenvolvimento do trabalho, os atributos foram hierarquicamente estruturados em três níveis, de acordo com a figura 11, em conformidade com o quadro de tomada de decisão de atributos múltiplos, MADM (*Multi attribute decision making*). O primeiro nível contém o objetivo geral para seleção de software de simulação. O segundo nível possui os atributos detalhados sob cada um dos grupos, como mostrado na tabela 7. O terceiro nível contém uma lista de softwares viáveis disponíveis para seleção.

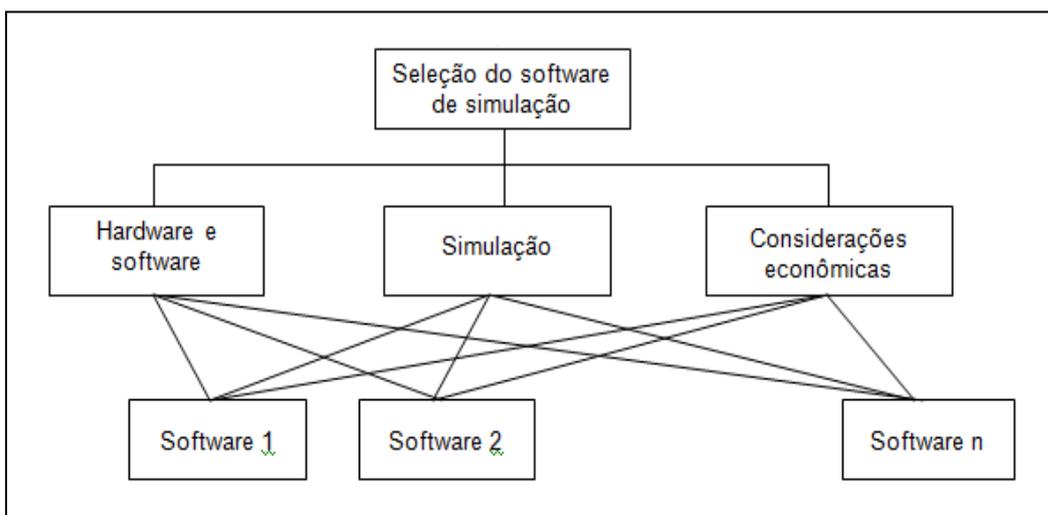


Figura 11: Três níveis de uma hierarquia para avaliação e seleção de um software de simulação.

Fonte: Adaptado de Sawant e Mohite (2011).

A tabela 8 ilustra um resumo dos critérios apresentados nos trabalhos citados nesse capítulo, portanto, não inclui todos os critérios mencionados nos trabalhos dos autores dessa pesquisa. Além disso, outros critérios foram agrupados devido à quantidade e à diversidade apresentada.

Entre os trabalhos citados observa-se uma significativa diferença entre o número de critérios abordados nos métodos de avaliação e seleção. Davis e Williams (1994) consideraram somente 14 critérios em uma única categoria, enquanto Gupta *et al.* (2010) utilizaram 13 grupos principais de critérios contendo mais de 220 itens. Ressalta-se que os trabalhos que possuem um maior número de critérios admitem uma cobertura mais ampla e detalhada do estudo em questão, enquanto que os trabalhos com um menor número de critérios permitem apenas uma análise superficial. Observa-se também que a maioria dos autores abordaram critérios relacionados às características gerais dos softwares como: desenvolvimento do modelo, entrada e saída de dados, eficiência, validação, execução e suporte técnico.

Tabela 8: Resumo dos critérios apresentados nos trabalhos do capítulo 4.

Crítérios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Sintaxe	x									
Gerador de variáveis aleatórias	x									
Atributos e Variáveis globais	x									
Roteamento condicional	x				x	x				
Relatórios padronizados/personalizados	x	x				x		x		
Análise estatística	x	x	x		x	x		x		
Geração de gráficos	x	x				x		x		
Coleta de dados automática		x				x				
Biblioteca de módulos		x			x	x				
Construção gráfica		x	x		x	x		x		
Animação	x	x			x	x		x		
Otimização		x				x				
Documentação técnica		x	x			x				
Recursos para manufatura							x			
Características orientadas a objetos							x			
<i>Características gerais, tais como: tipo de simulação, lógica, tempo de execução, especificação da unidade de tempo e tamanho, versão em rede etc.</i>	x	x		x		x	x	x		
<i>Aspectos visuais com 37 itens, tais como: animação, modo de reprodução, relógio visual, editores de tela e ícone, cores, efeitos etc.</i>				x		x				x
<i>Aspectos de codificação, tais como: flexibilidade de programação, acesso ao código fonte, funções built in, variáveis etc.</i>		x	x	x	x	x		x	x	x
<i>Aspectos de eficiência, tais como: robustez, número de elementos do modelo, gravação automática, interação, tempo de compilação, política de filas etc.</i>				x	x	x		x		
<i>Assistência de modelagem, tais como: qualidade do prompting, mensagens de erros, comandos undo/redo, ajuda on line etc.</i>	x	x		x	x	x				
<i>Aspectos relacionados a testes, tais como: verificador de lógicas, qualidade das mensagens de erro, facilidade de depuração, alarmes etc.</i>	x	x		x			x	x	x	x
<i>Características relacionadas à compatibilidade, tais como: integração com softwares de planilhas, textos e estatísticos, com sistemas de gerenciamento de dados etc.</i>	x	x	x	x		x	x	x		x
<i>Entrada e saída de dados, tais como: caixas de dialogo, múltiplas saídas e entradas, gráficos, relatórios etc.</i>		x		x	x	x	x	x	x	
<i>Aspectos relacionados à experimentação, tais como: período de aquecimento, replicações independentes, ajuste de velocidade etc.</i>				x	x					x
<i>Características estatísticas, tais como: distribuição, ajustes, análise dos dados de saída, intervalo de confiança etc.</i>				x				x	x	x
<i>Suporte ao usuário, tais como: documentação, tutorial, treinamentos, modelos demos, consultoria etc.</i>			x	x						x
<i>Características financeiras e técnicas, tais como: portabilidade, conversão de arquivos, preço, facilidade de instalação, taxa de consultorias etc.</i>	x		x	x		x		x		x
<i>Aspectos relacionados à credibilidade, tais como: tempo de empresa, sucesso, referência, reputação de fornecimento, fontes de informações etc.</i>			x	x	x	x		x		
<i>Aspectos relacionados a testes e eficiência, tais como: rastreamento, execução passo a passo, validação e verificação etc.</i>	x				x	x				
<i>Características relacionadas ao uso, tais como: tipo de simulação, hardware, sistema operacional, rede, etc.</i>	x	x			x	x	x	x		

Sendo A - Banks (1991), B - Mackulak (1994), C - Davis e Williams (1994), D - Hlupic *et al.* (1999), E - Nikoukaran *et al.* (1999), F - Tewoldeberhan *et al.* (2002) -fase2, G - Cochran e Chen (2005), H - Azadeh *et al.* (2010), I - Gupta *et al.* (2010) e J - Sawant e Mohite (2011).

Com relação à seleção do software, a maioria dos autores relatados nesse estudo apresentou uma metodologia com uma fase de seleção. Apenas os autores Banks (1991), Davis e Williams (1994), Hlupic *et al.* (1999) e Tewoldeberhan *et al.* (2002), adotaram a seleção através das duas fases, onde a primeira consiste em avaliar os softwares disponíveis através dos critérios mais essenciais. Dessa maneira, a quantidade de software a ser avaliado na próxima fase é significativamente menor. Outra constatação é que somente o estudo de Mackulak *et al.* (1994) utilizou uma pesquisa baseada em questionários, na qual os autores levantaram as características mais importantes para os usuários, porém não se realizou qualquer tratamento matemático dos dados, foram feitas apenas comparações.

O capítulo seguinte apresenta a metodologia de pesquisa usada no desenvolvimento desse trabalho.

5

Metodologia de pesquisa

Para Yin (2009), um projeto de pesquisa pode ser definido como um plano que orienta o pesquisador no processo de coleta, análise e interpretações das observações. Ainda de acordo com o autor é um modelo lógico que permite analisar as relações causais entre as variáveis pesquisadas.

Creswell (2009) também fornece uma definição de projeto de pesquisa como sendo os planos e procedimentos para a pesquisa que abrangem as decisões relativas às hipóteses baseadas nos métodos detalhados de coleta e análise de dados.

Demonstram-se aqui os procedimentos metodológicos utilizados na execução deste trabalho, em função do objetivo proposto que é apresentar uma metodologia de duas etapas para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos. Adota-se um conjunto de abordagens, técnicas e processos, de maneira sistemática e com o emprego de processos científico. A figura 12 ilustra a metodologia seguida no desenvolvimento desse trabalho.

Inicia-se o trabalho, etapa 1, com um levantamento bibliográfico relativo a simulação de eventos discretos, modelos de maturidade, bem como modelos de avaliação e seleção de softwares de simulação. Pressupõe-se ser esta a base necessária para o desenvolvimento dessa pesquisa. Dessa forma podemos classificá-la como exploratória por envolver levantamento bibliográfico como base para o estudo sobre o tema tratado.

Em seguida, etapa 2, foi desenvolvida uma pesquisa com o objetivo de verificar a participação da metodologia de simulação computacional na literatura, assim como também, apresentar os softwares de simulação de eventos discretos mais citados com uso nos sistemas de manufatura. Foram utilizados como fonte de informação os artigos publicados em periódicos e anais de conferências a partir do conteúdo de quatro bases de dados eletrônicas: Science Direct da Elsevier, Portal ACM, IEEE Xplore e Springer Link.

Na etapa 3 foi desenvolvido um modelo que permitiu, através de uma métrica, avaliar o nível de maturidade dos processos operacionais dos sistemas

produtivos. Os dados para essa avaliação, etapa 4, foram obtidos através da elaboração de um questionário contendo 33 questões, disponível no apêndice 1.

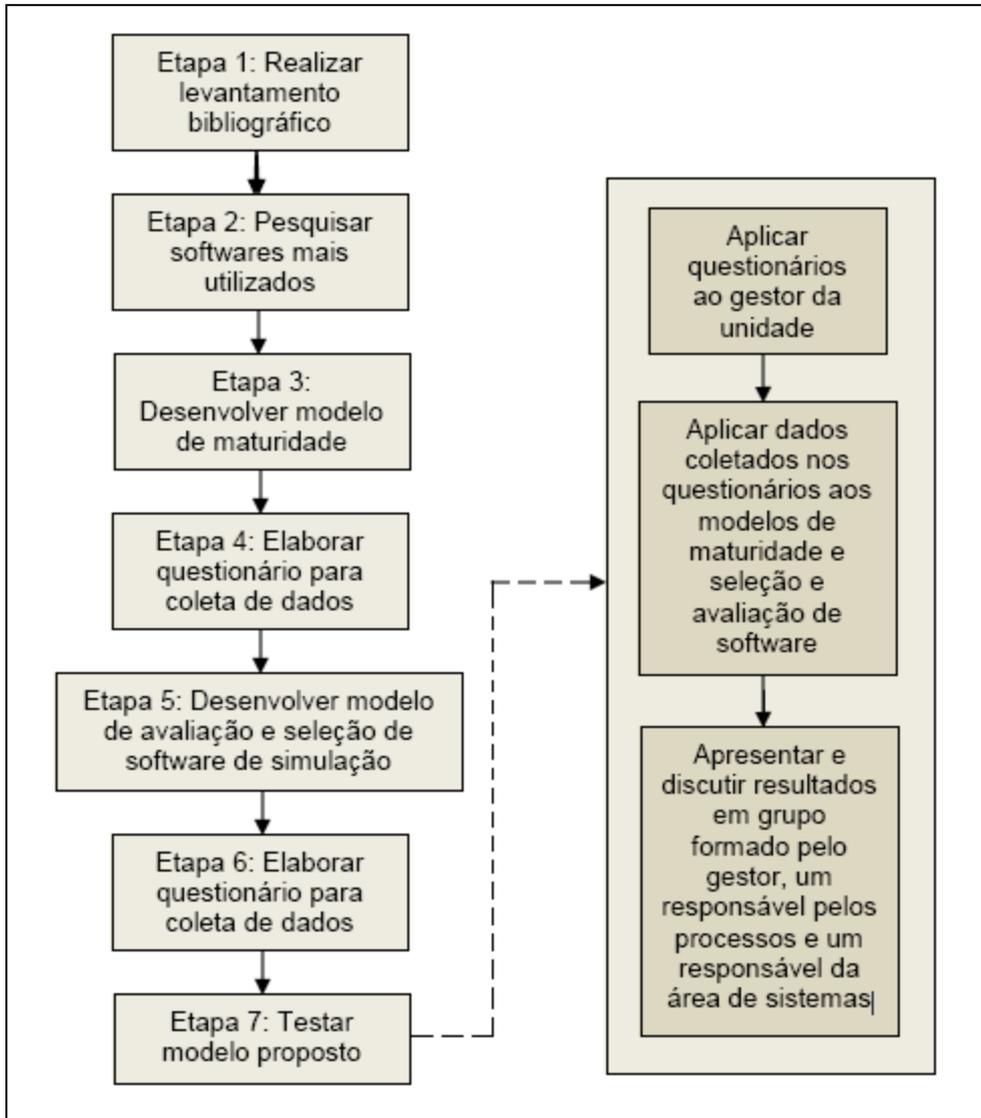


Figura 12: Metodologia de pesquisa adotada neste trabalho.

Para avaliar e selecionar o software de simulação foi desenvolvido, etapa 5, um modelo estruturado com base em multicritérios. Assim, foi possível analisar as características desejáveis nos softwares de simulação de forma a atender as necessidades específicas dos processos operacionais dos sistemas produtivos. Para coletar os dados para essa análise foi elaborado um questionário, etapa 6, contendo 63 questões, disponível no apêndice 2.

A obtenção dos dados tanto para a aplicação quanto para a verificação e a validação do modelo proposto foi feita através da utilização e análise de questionários.

De acordo com Mattar (2014) um questionário pode ser de perguntas fechadas ou abertas. Os de perguntas fechadas são padronizados e mais fáceis para aplicação e análise. Já os de perguntas abertas, embora possibilitem obter dados ou informações mais ricas e variadas, são analisados e codificados com maiores dificuldades. Ainda conforme Mattar (2014), as perguntas fechadas podem ser classificadas em:

- Dicotômicas: apresentam apenas duas opções de resposta, como: sim / não, concordo / discordo, faço / não faço, entre outras.
- Escolha Múltipla: os respondentes optam por uma única opção ou por um número limitado de opções de respostas.
- Escala: os respondentes optam por uma única resposta de um número limitado de opções em uma escala que melhor corresponde à sua opinião a respeito do que está sendo perguntado.

Os questionários desenvolvidos neste trabalho foram baseados em perguntas fechadas com respostas em escala.

Tanto o questionário da primeira etapa do modelo proposto quanto o da segunda etapa utilizaram uma escala Likert. Segundo Mattar (2014), a escala Likert é uma escala indireta e compreende uma série de afirmações relacionadas com a pesquisa. Dessa maneira, os respondentes são solicitados a informarem o seu grau de percepção (concordância) em relação a cada questão. Para o questionário da primeira etapa foi utilizada a seguinte escala de percepção: Discordo Totalmente, Discordo Parcialmente, Não concordo nem discordo, Concordo Parcialmente e Concordo Totalmente. Já para o questionário da segunda etapa foi usada a seguinte escala: Totalmente indispensável, Parcialmente indispensável, Neutro, Parcialmente dispensável e Totalmente dispensável.

Os dados coletados na primeira etapa serviram para, através da elaboração de uma forma métrica, estabelecer um indicador de desempenho. Recomenda-se, neste trabalho, que o primeiro estágio para uma empresa adotar uma nova metodologia, no caso, simulação de eventos discretos, seria identificar a sua

realidade atual em relação aos seus processos produtivos, estabelecendo qual o seu nível efetivo e seu estágio atual. Para isso, será proposto um modelo de maturidade dos processos produtivos industriais.

Já a captação de dados no questionário da segunda etapa visa identificar os critérios de interesse dos gestores de manufaturas com relação aos recursos dos softwares de simulação. Foi elaborada uma estrutura formal e sistemática para avaliar os vários critérios. Segundo Yoon e Hwang (1995), problemas de tomada de decisão de multicritérios são referentes a decisões preferenciais sobre as alternativas disponíveis que são caracterizadas por atributos múltiplos, geralmente conflitantes. Chai *et al* (2013) define problemas de tomada de decisão de multicritérios como uma estrutura metodológica que tem a finalidade de proporcionar aos tomadores de decisões uma orientação dentro de um conjunto finito de alternativas (também conhecidas como ações, objetos, soluções, ou candidatos), enquanto está a ser avaliada a partir de múltiplos pontos de vista, chamados critérios (também conhecidos como atributos, características ou objetivos). Diferentes técnicas têm sido utilizadas em processos de resolução para problemas de multicritérios, tais como: AHP - *Analytic Hierarchy Process*, ELECTRE - *Elimination and Choice Expressing Reality*, PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*, TOPSIS - *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*, SMART - *Simple Multiattribute Rating Technique*, DEMATEL - *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*, entre outras.

Ainda de acordo com Chai *et al* (2013), o AHP tenta atribuir um valor para cada alternativa, representando o grau de preferência que pode ser a base para a classificação ou escolha através da priorização fundamentada em um quadro hierárquico. Neste trabalho foi adotado o AHP, que segundo Gupta *et al* (2010) e Jadhav e Sonar (2011) é o método mais amplamente utilizado para avaliação de software.

A estratégia usada para desenvolver o modelo proposto, foi a de construção de teorias a partir de estudos de caso (Eisenhard, 1989). A autora descreve o processo de construção de teoria por indução usando estudo de caso a partir da especificação de questões de pesquisa. Ela afirma que na ciência normal, a teoria é desenvolvida através de testes empíricos incrementais, e assim, o processo de

construção da teoria baseia-se na literatura e observação empírica ou experiência. De acordo com Eisenhard (1989), a pesquisa utilizando o estudo de caso pode analisar os dados a partir de um ou mais casos, e usar métodos de coleta de dados, tais como análise de arquivo, entrevistas, pesquisas, questionários e observações. Pode incorporar uma natureza quantitativa ou qualitativa dos dados ou ambos. Ravenswood (2011) enfatizou a importância do trabalho de Eisenhard (1989) através de um levantamento mostrando que até o final de 2008 foram feitas 2509 citações em publicações desse período. Outros autores ressaltam a relevância do estudo de caso na construção de teorias como Barratt *et al.* (2011), Tsang (2013) e Ketokivi e Choi (2014).

Para o desenvolvimento dos modelos de maturidade e avaliação e seleção de softwares, foi levada em conta, além do levantamento bibliográfico, a experiência do autor deste trabalho, que atuou por 25 anos como gestor de manufaturas nos segmentos de vedação, isolamento térmico e filamentos contínuos sintéticos.

A estratégia usada para testar o modelo proposto, etapa 7, foi a de estudo de casos múltiplos. Neste trabalho, quatro diferentes empresas com diferentes segmentos de mercado foram selecionadas para aplicação do modelo proposto. Em cada aplicação, os questionários foram respondidos pelo gestor da unidade, e os resultados foram apresentados e discutidos em grupo, formado pelo gestor, um responsável pelos processos e um responsável da área de sistemas.

No capítulo seguinte será apresentada, como primeira contribuição desse trabalho, uma pesquisa com base na literatura sobre os softwares de simulação de eventos discretos mais utilizados em manufatura.

Softwares de simulação: Quais os mais utilizados?

A demanda por softwares confiáveis e que atendam as necessidades dos usuários cresce continuamente. Em resposta a essa crescente demanda, as empresas de software têm produzido vários produtos cada vez mais customizados e adaptados para atender às necessidades específicas das organizações. A tarefa de seleção do software torna-se cada vez mais complexa e uma seleção inadequada pode afetar negativamente os processos de negócio e funcionamento da organização (Jadhav e Sonar, 2011).

A disponibilidade de um grande número de softwares de simulação no mercado pode levar a alguma confusão na escolha por parte dos usuários. Diversos trabalhos foram publicados no campo da avaliação e seleção de software com objetivo de fornecer uma metodologia para auxiliar o processo de seleção, como já apresentado no capítulo 4. A triagem de uma metodologia entre tantas, também pode levar a alguma dificuldade na escolha por parte das organizações. Essa dificuldade pode ser devida à falta de conhecimento, às grandes diferenças existentes e aos resultados divergentes das metodologias de escolha. Assim, a seleção de um software que atenda às necessidades específicas das organizações se torna uma tarefa nada fácil e também o processo de tomada de decisão demorado. Por conseguinte, os pesquisadores estão sempre na busca de melhores formas de avaliação e seleção dos softwares de simulação.

A pesquisa desenvolvida neste capítulo tem como finalidade verificar a participação da metodologia de simulação computacional nos trabalhos publicados e apresentar os softwares de simulação de eventos discretos mais citados na literatura com uso nos sistemas de manufatura. O período avaliado foi de 1999 até 2014, por ser um período suficientemente abrangente para os propósitos deste trabalho e pela maior proximidade do período com a atualidade.

A pesquisa para essa revisão foi dirigida no sentido de encontrar artigos publicados em periódicos e anais de conferências a partir do conteúdo de quatro bases de dados eletrônicas: Science Direct da Elsevier, Portal ACM, IEEE Xplore e Springer Link. Essas bases de dados também foram usadas para levantamentos

de bibliografia sobre simulação realizados por outros autores, tais como, Jadhav e Sonar (2009), Chai *et al* (2013) e Ali *et al* (2014). Além disso, essas bases de dados são altamente conceituadas, de modo amplo, no meio acadêmico, e incluem artigos com os melhores índices de aceitação.

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando diferentes palavras-chaves, agrupadas em dois blocos e com a ajuda dos operadores booleanos: (“*simulation software*” or “*simulation modelling*” or “*computer simulation*” or “*discrete event*”) and (*manufacturing or production or industry or industrial*). Foi feito também, no “*abstract*”, um filtro de busca dessas palavras-chaves. No caso da Science Direct foi feito um segundo filtro em *Topics* com *simulation, model, production, simulation model, system, process, manufacturing system*.

O processo de seleção dos artigos foi realizado em duas etapas. Primeiro uma seleção inicial com base na leitura dos resumos, como um processo inicial de filtragem. Depois, quando necessário, a seleção final foi feita após uma leitura do trabalho como um todo. O critério para exclusão foi a não utilização de um software de simulação nos sistemas de manufatura, isto é, não foram considerados os artigos que tratavam de softwares utilizados em outros sistemas que não manufatura ou de software que não eram de eventos discretos. Todo o processo de pesquisa gerou 1165 documentos, que foram então reduzidos a 265 após os filtros e leituras. A figura 13 ilustra a metodologia da pesquisa usada neste levantamento.

Na fase de extração dos dados foram obtidas as informações relativas aos autores, número de referência, ano de publicação, título, periódico e software utilizado. Com essas informações, foi possível preparar os dados para obter as análises. O número de artigos revisados foi usado para demonstrar a existência de tendências.

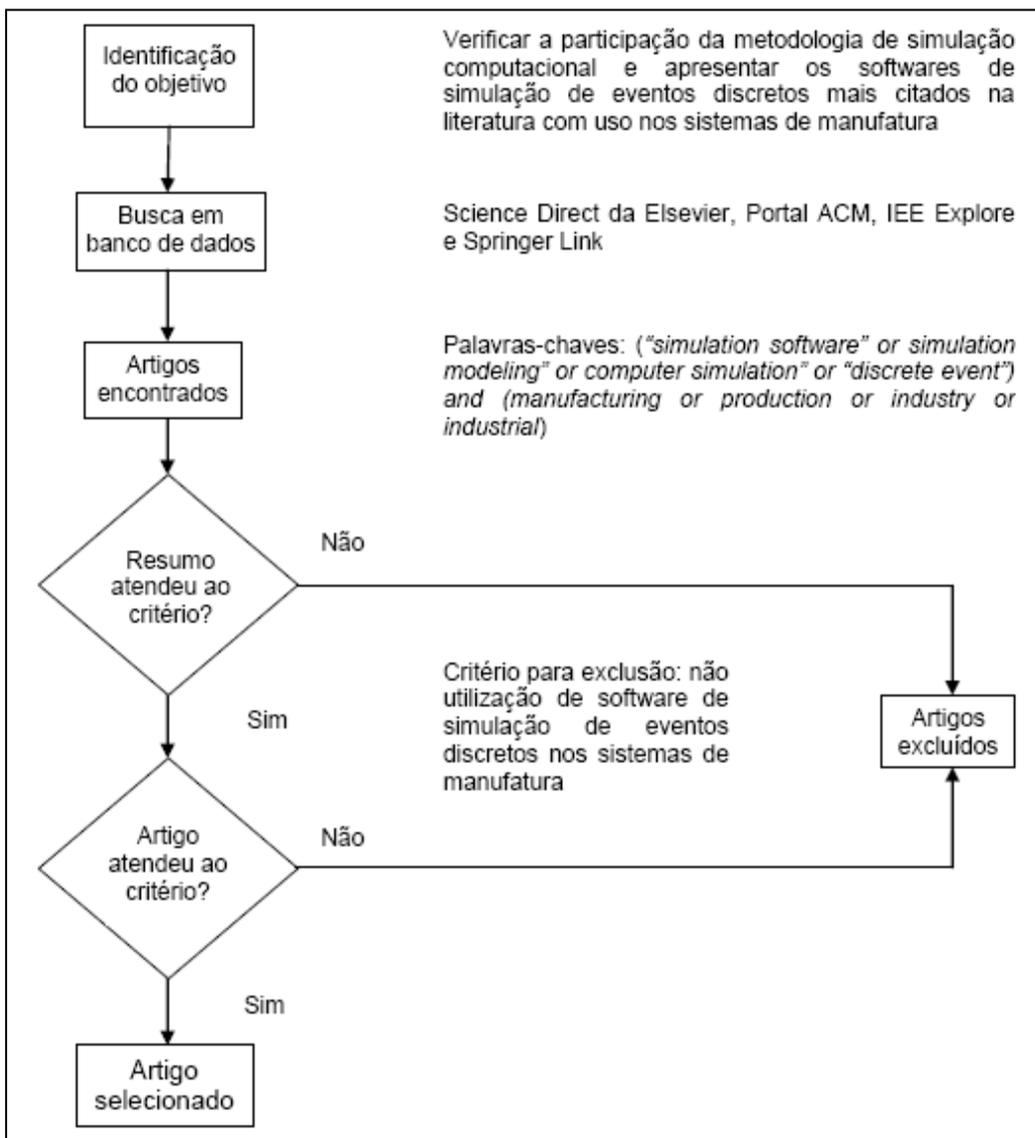


Figura 13: Metodologia de pesquisa para verificar a participação da metodologia de simulação computacional nos sistemas de manufatura.

A primeira análise visa ilustrar a tendência de um modo geral na literatura com relação ao uso da metodologia da simulação computacional na manufatura, conforme o gráfico 3.

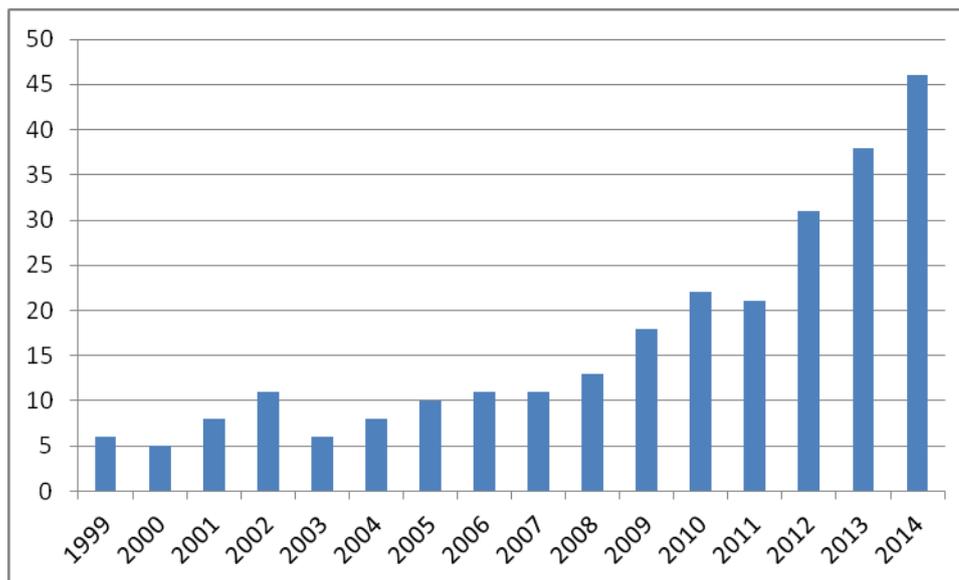


Gráfico 3: número de artigos com uso da simulação computacional na manufatura publicados por ano.

Pode-se constatar o aumento significativo do número de publicações ao longo dos últimos 16 anos, indicando, ou sugerindo uma forte tendência do uso dessa metodologia na aplicação para diferentes domínios da manufatura. Para Negahban e Smith (2014), esse crescimento pode ser justificado devido ao aumento do poder computacional, inclusão de algoritmos de otimização em alguns softwares de simulação, incorporando a variabilidade e interdependências, possibilitando análises e mudanças precisas nos processos analisados, e outras técnicas de melhoria de eficiência. Além disso, os avanços nas técnicas de verificação e validação juntamente com o sucesso na adoção e aplicação da simulação por mais empresas de manufatura aumentou sem dúvida a credibilidade desta metodologia entre pesquisadores e profissionais, resultando neste interesse crescente.

Outra análise dos textos revisados revela o aumento do número de trabalhos publicados, principalmente, na área de operação de sistemas de produção, mostrando também uma tendência de mudança na aplicação da simulação - sua aplicação em *design* permanece estável, enquanto sua aplicação na área operacional apresenta crescimento. Essa observação também foi feita pelos autores Negahban e Smith (2014) que compararam a evolução dos trabalhos publicados nas áreas específicas como operação de sistemas e produção, *design* dos sistemas de produção e desenvolvimento de softwares/ linguagem de

simulação, conforme demonstrado no gráfico 4 (embora não seja central para este trabalho, essa pesquisa se presta de modo suficiente para apoiar o ponto aqui abordado).

De uma maneira geral, o crescimento da simulação na área de operação do sistema de produção pode ser atribuído, entre outras, ao desenvolvimento dos softwares cada vez mais poderosos e amigáveis para os usuários, permitindo assim, apoiar os tomadores de decisão em aumentar a eficiência dos processos operacionais, controlar o desempenho dos processos em termos de qualidade e de custos e avaliar diferentes soluções e estratégias.

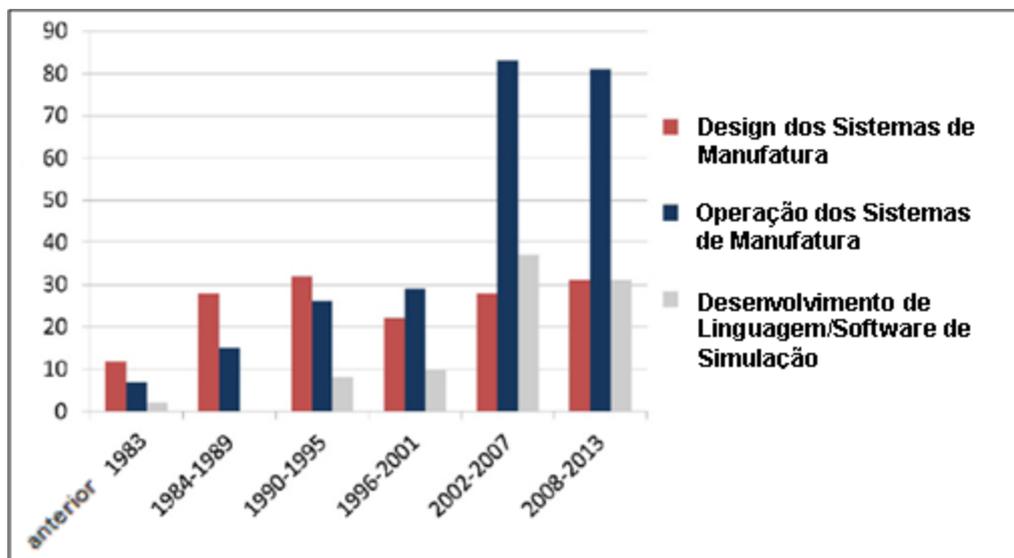


Gráfico 4: Número de trabalhos publicados por período nas áreas de aplicação.
Fonte: Adaptado de Negahban e Smith (2014).

Outra finalidade dessa pesquisa foi avaliar quais os softwares de simulação mais citados na literatura com aplicação nas áreas de manufatura e como eles estão distribuídos. O gráfico 5 ilustra os resultados.

Determinados softwares de simulação disponíveis no mercado tem características gerais. Alguns possuem recursos básicos e outros têm características dominantes para a modelagem, sendo que cada um tem suas próprias forças e fraquezas.

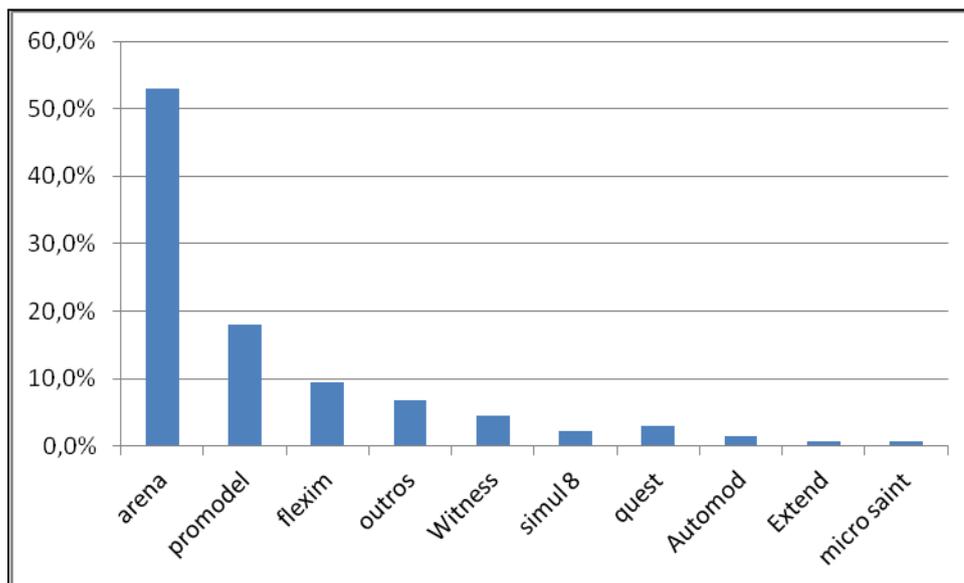


Gráfico 5: Participação dos softwares de simulação aplicados na manufatura publicados na literatura.

Entre os softwares de simulação comerciais mais citados nota-se uma ampla utilização do Arena (53,0%), seguido pelo ProModel (18,3%), e o Flexsim (9,3%). Esses três softwares juntos representam mais de 80% das publicações. O gráfico 6 mostra a quantidade de publicações por ano citando o software Arena, ProModel e Flexsim, respectivamente ao longo do período estudado.

O perfil da participação do software Arena nas publicações anuais é praticamente o mesmo que o do uso da metodologia da simulação computacional na manufatura em geral. Isso pode ser explicado por estar a mais tempo no mercado (foi lançado no início dos anos 90, porém a sua linguagem de simulação SIMAN foi criada no início dos anos 80) e também por fornecer programas destinados à análise de manufatura, além de outras questões como flexibilidade, custos, programação interna, capacidade de uso, dentre outras. O Arena simulation software (2014) destaca que o Arena utiliza uma metodologia que permite a criação de um fluxo de processo de fabricação de uma maneira rápida, intuitiva e de fácil aprendizagem. Arrastar e soltar os templates na área de trabalho permitem criar simulações e visualizar os resultados com animação 2D e 3D não requerendo assistência de programação ou programadores.

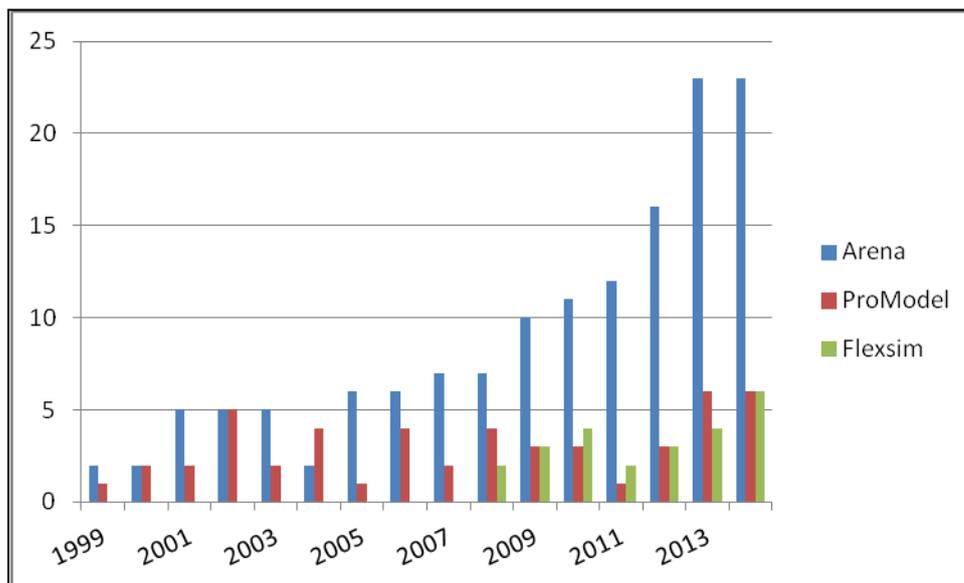


Gráfico 6: Número de artigos citando Arena, Promodel e Flexsim aplicados na manufatura publicados por ano.

O perfil da participação do software ProModel não acompanhou a tendência geral na área de manufatura. Foi lançado no mercado no final dos anos 80 para modelar sistemas de manufatura e em seguida passou a atuar também na área de saúde e serviços. Harrell e Price (2003) enfatizam que os produtos ProModel possuem a flexibilidade de uma linguagem de simulação de propósito geral com a conveniência de simuladores baseados em dados.

Os trabalhos publicados citando o software Flexsim na área de manutenção começaram a aparecer na literatura, conforme essa pesquisa, em 2008. Parte desse motivo pode ser atribuído ao fato de ser o mais novo entre os três. Lançado no início dos anos 2000 possui um ambiente de software orientado a objeto podendo ser utilizado para modelar, simular, visualizar as atividades e sistemas de processamento. De acordo com Nordgren (2003), o Flexsim é completamente integrado com o compilador C++ ou usa diretamente C++. Possui uma incrível animação virtual e todas as vistas podem ser mostradas simultaneamente durante o desenvolvimento do modelo ou da fase de execução.

Os processos dentro da manufatura tem demonstrado ser um potencial setor de negócios para as empresas desenvolvedoras dos softwares de simulação. Como consequência, a metodologia de modelagem e simulação está se tornando cada vez mais presente no apoio à tomada de decisão para as soluções dos problemas

dos sistemas de manufatura, visando redução de custos, aumento de eficiência, qualidade, dentre outros benefícios.

Atualmente dezenas de softwares de simulação de eventos discretos estão disponíveis no mercado. O importante é conhecer as características de cada um antes de um processo de aquisição. Algumas dessas características podem ser: preço de mercado, contrato comercial de compra, suporte técnico, capacidade de criar soluções logísticas, visual e animação de qualidade e desempenho, possuir biblioteca específica, facilidade no uso, capacidade de desenvolver diferentes cenários e criar novas bibliotecas, possibilidade de customização do software entre outras importantes características citadas no capítulo anterior. Critérios para seleção de software de simulação foram discutidos no capítulo 4.

Como os softwares Arena, ProModel e Flexsim estão presentes em mais de 80% das publicações analisadas nesta pesquisa, será feita uma abordagem destacando as principais características de cada um deles.

6.1

Software de simulação Arena

A primeira versão da linguagem de simulação SIMAN foi lançada em 1982 pela Systems Modeling Corporation (EUA), guiada pela linguagem GPSS usada em computadores de grande porte. Em 1984 foi lançado o CINEMA como sendo o primeiro software de animação para PC. Em 1993, SIMAN e CINEMA foram integrados em um ambiente único de simulação, surgindo assim o software Arena. No final dos anos 90 a Systems Modeling foi comprada pela empresa Rockwell Automation e o Arena recebeu novas versões agregando melhorias. A Paragon foi convidada a representar e distribuir comercialmente o software de simulação SIMAN/CINEMA com exclusividade no Brasil, e posteriormente em toda a América Latina. Fundada em 1992, a Paragon atua no mercado, com serviços de consultoria, treinamentos e venda de softwares (Prado, 2010 e Paragon, 2014).

O software Arena possui um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém os recursos necessários para modelagem de processos, animação, análise estatística e análise de resultados. Uma das principais diferenças da tecnologia do Arena está na concepção dos templates, ou seja, uma representação de um

conjunto de funções/ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa. Possui o *Debugger* que realiza o levantamento das possíveis causas dos problemas, durante a execução, localizados na modelagem (Paragon, 2014).

Segundo Chung (2006), o software Arena consiste basicamente de três diferentes componentes. O primeiro é relativo à parte gráfica que utiliza os códigos de programação do SIMAN, permitindo assim, que os modelos sejam desenvolvidos com rapidez e animados com uma maior facilidade. O segundo componente é o *Input Analyzer* que realiza uma análise estatística dos dados de entrada, sugerindo funções probabilísticas. O terceiro componente é o *Output Analyser* que é utilizado para analisar estatisticamente e comparar medidas de desempenho dos resultados de saída de um modelo.

De acordo com a Paragon (2014), algumas das principais funcionalidades do software Arena são: modelagem por fluxogramas, compatibilidade com MS Office, Windows, C++, Visual Basic e Java, assistente para ajudar na criação de modelos, manuais *on line*, extensa biblioteca de desenhos para interface animada, suporta gravação de macros para automação de tarefas, assistente para encontrar erros no modelo, relatórios estatísticos, dentre outras funcionalidades.

Prado (2010) divide os espaços do ambiente Arena em áreas de templates, de trabalho e de planilhas, conforme figura 14.

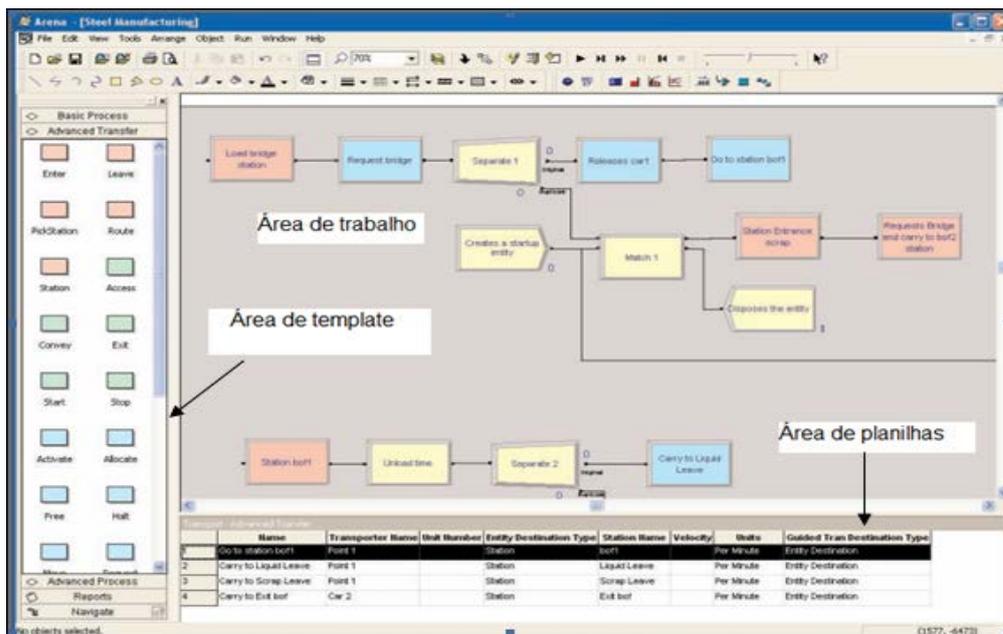


Figura 14: Ambiente de trabalho do software de simulação arena.
Fonte: Adaptado de Arena simulation software (2014).

A área de templates é dividida em vários processos e dentro de cada há um conjunto de templates específico para cada processo. A escolha do processo depende do que se pretende realizar. Os templates devem ser clicados e arrastados até a área de trabalho. Após serem dispostos na tela, os elementos gráficos podem ser parametrizados de acordo com os dados do sistema real. Com um duplo click em cima do template, já disposto na área de trabalho, abrirá uma tela com os respectivos parâmetros.

O software Arena é comercializado em várias versões. A tabela 9 apresenta uma breve descrição sobre cada uma delas.

Tabela 9: Versões comercializadas do software Arena.

Versões	Direcionamento
<i>Academic</i>	Disponibilizado com a finalidade de promover a educação, treinamento e pesquisa em simulação.
<i>Basic Edition</i>	Atendimento a clientes e em processos de negócios internos da empresa, como organizar ordens e pedidos, serviços ou pequenos fluxos de manufatura.
<i>Standard Edition</i>	Todas as características do Básico, com adição da lógica avançada de um modelo <i>PULL</i> , Kanban, e outros sistemas avançados. Conectividade com fontes de dados externos e criação de dados estatísticos específicos.
<i>Professional Edition</i>	Direcionamento a projetos de larga escala envolvendo mudanças altamente sensíveis relacionadas com a cadeia de suprimentos, manufatura, processos, logística, distribuição, armazenamento e sistemas de serviço. Inclui o módulo OptQuest e a criação de templates.
<i>Enterprise Suite</i>	Abrangente pacote de produtos para a organização enfrentar uma ampla gama de problemas de modelagem.
<i>Run time</i>	Permite acesso a projetos, assim como modificações de parâmetros no modelo para rodar diferentes cenários.

Fonte: Adaptado da Paragon, (2014).

Todas as versões do software Arena foram desenvolvidas para Windows, ou seja, possui compatibilidade com diferentes versões do sistema operacional Windows. A tecnologia denominada Active X admite a relação dos modelos de simulação com dados de planilhas eletrônicas, de arquivos de texto do programa Microsoft Office.

A versão profissional possui o módulo OptQuest que executa o procedimento de otimização no modelo de simulação. De acordo com Melouk *et al.* (2013) os componentes da otimização fornecem soluções viáveis para o modelo de simulação, respeitando um conjunto de restrições e avaliando-as segundo uma função objetivo pré-definida. Para encontrar as melhores soluções viáveis dentre todas as soluções possíveis o software usa procedimentos heurísticos (técnicas de geração de boas soluções viáveis para um determinado problema de otimização). As soluções geradas no OptQuest servem como entrada para o modelo de simulação que, em seguida, executa essas soluções para gerar novas informações que avaliam a qualidade das soluções geradas. Estas informações retornam ao otimizador para ajudar na escolha de uma nova solução. Esse processo se repete até que um critério de parada seja atendido, momento em que a melhor solução é encontrada, conforme ilustra a figura 15.

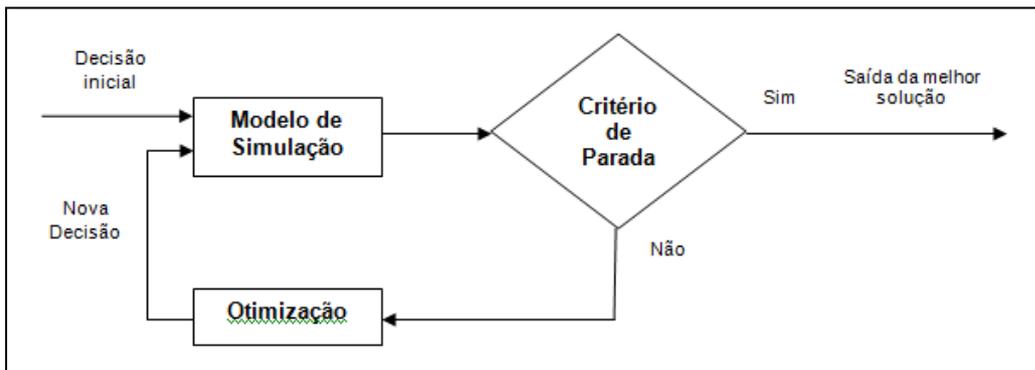


Figura 15: - Lógica de funcionamento do processo de simulação - Arena com otimização – OptQuest.

Segundo o Arena simulation software (2014) o OptQuest emprega três heurísticas de busca conhecidos, *scatter search* (SS), como sua principal estratégia de busca, *tabu search* (TS) como método secundário e *neural networks* (NN) como o último método.

Outro módulo comercializado separadamente é o Arena 3D Player. Este módulo permite visualizar o modelo em 3D, modificar as formas no layout, adicionar novas formas na biblioteca, gerar animação em formato AVI, entre outras características (Arena simulation software, 2014). A figura 16 mostra um ambiente de modelagem usando esse módulo.

Organizações como a Aracruz celulose, Klabin, Esso – terminal Betim, Arcelor Mittal - ACESITA, Natura, Vale, Continental Airlines, Grupo Pão de Açúcar, Fiat, Magneti Marelli Cofap, Mercedes Benz, Pepsi Americas, Phillips, Scandinavian Airlines e United Parcel Service são alguns dos clientes que usam o software Arena (Paragon, 2014).

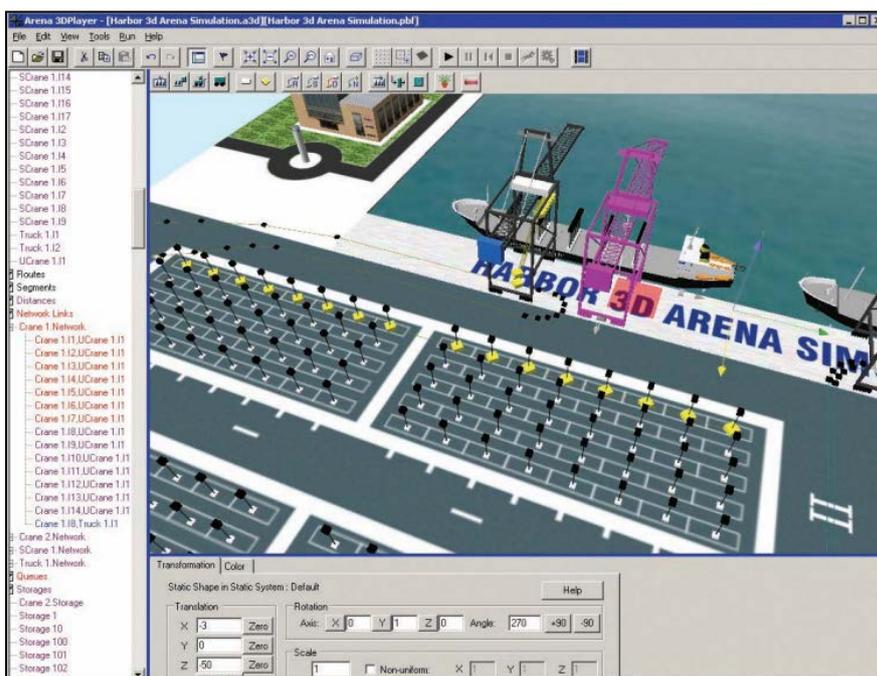


Figura 16: Ambiente de trabalho do Arena 3D Player.
Fonte: Arena simulation software (2014).

6.2

Software de simulação ProModel

O software de simulação Promodel foi desenvolvido e é distribuído comercialmente pela ProModel Corporation há mais de 25 anos. A partir de 1995, a empresa Belge passou a ser a distribuidora exclusiva do software Promodel no Brasil e para todo o mercado do Mercosul (ProModel Corporation e Belge Consultoria, 2014).

Segundo Harrell e Price (2003), o Promodel é uma ferramenta de simulação e animação concebida para modelar sistemas de fabricação de todos os tipos e para trabalhar no ambiente Windows. Possui elementos de modelagem orientados para manufaturas e lógica de decisão baseada em regras extremamente fáceis de aprender e usar. Os recursos de linguagem incluem lógica *if-then-else*, expressões booleanas, variáveis, atributos, matrizes e até mesmo o acesso a arquivos de planilha e texto externos. Admite também que as subrotinas externas programadas, por exemplo, em C++ ou Visual Basic possam ser dinamicamente ligadas ao modelo. O software possui tecnologia que permite associação com outros sistemas como Excel, Power Point entre outros programas da Microsoft.

Ainda conforme os autores, para auxiliar o usuário na escolha de uma distribuição probabilística adequada para um conjunto de dados, o software Promodel utiliza o módulo Stat fit que está incluído no simulador. O desenvolvimento do modelo é totalmente gráfico e orientado a objetos. Na medida do possível, toda entrada é feita graficamente com informações que estão sendo agrupadas por tipo de objeto e apresentadas em um formato de tabela para um acesso rápido e intuitivo. Por exemplo, quando o modelador define uma máquina, pode-se também definir o ícone da máquina, a capacidade, as características de inatividade, as regras de entrada e saída, estatísticas de saída, etc. A figura 17 ilustra um ambiente de manufatura modelado no Promodel.

De acordo com a Belge Consultoria (2014), algumas das aplicações típicas de uso do software de simulação Promodel na indústria são: Teste de validação dos investimentos; Balanceamento de Linhas; Projeto de Células e lay out; Implantação de *Lean Production*; Suporte a projetos 6 Sigma; Apoio ao PCP e ao S&OP; Movimentação e Armazenagem de Materiais.

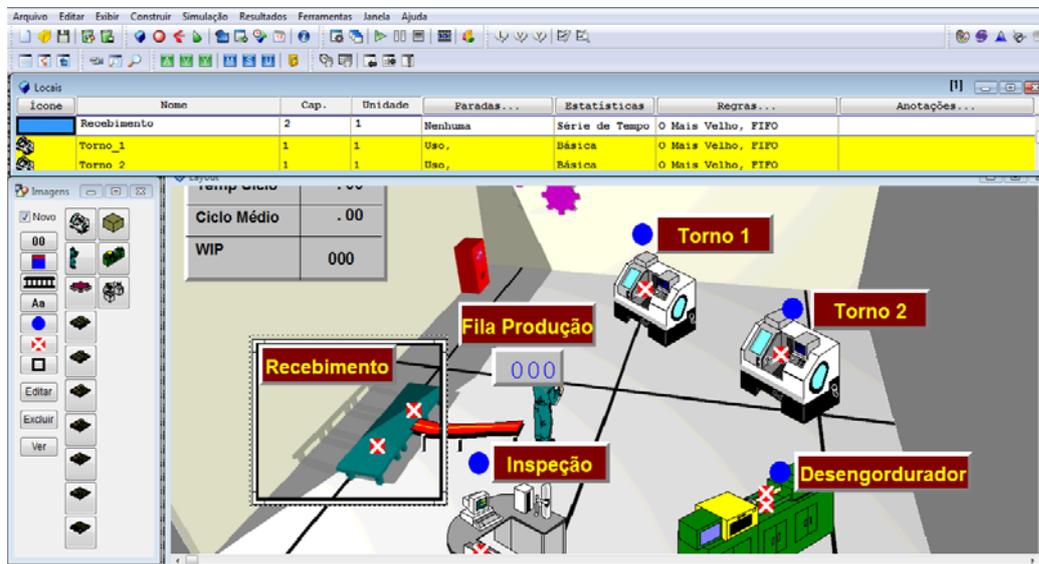


Figura 17: Ambiente de trabalho do Promodel.

O 3D Animator é um módulo complementar de apresentação desenvolvido para o Promodel, utilizado na pós-simulação. Usando um script de animação em 3D gerado pelo próprio modelo, é possível configurar e personalizar vistas em uma plataforma totalmente tridimensional. A figura 18 mostra um exemplo de

uma tela no ambiente do 3D Animator. Algumas das vantagens, segundo a Belge Consultoria (2014), são:

- Todos os objetos, incluindo o layout, são renderizados tridimensionalmente, permitindo que a animação reflita melhor a realidade que o modelo está simulando;
- Os objetos se movimentam automaticamente em redes de caminho e esteiras, mostrando a correta direção de transporte;
- É possível visualizar a animação em qualquer ângulo, velocidade e zoom, bem como seguir objetos que se movem durante a animação, tornando possível pré-definir vistas e percursos automáticos da câmera;
- A animação 3D é independente do modelo de simulação, o que permite que seja enviada a outros e visualizada sem a necessidade de rodar a simulação.

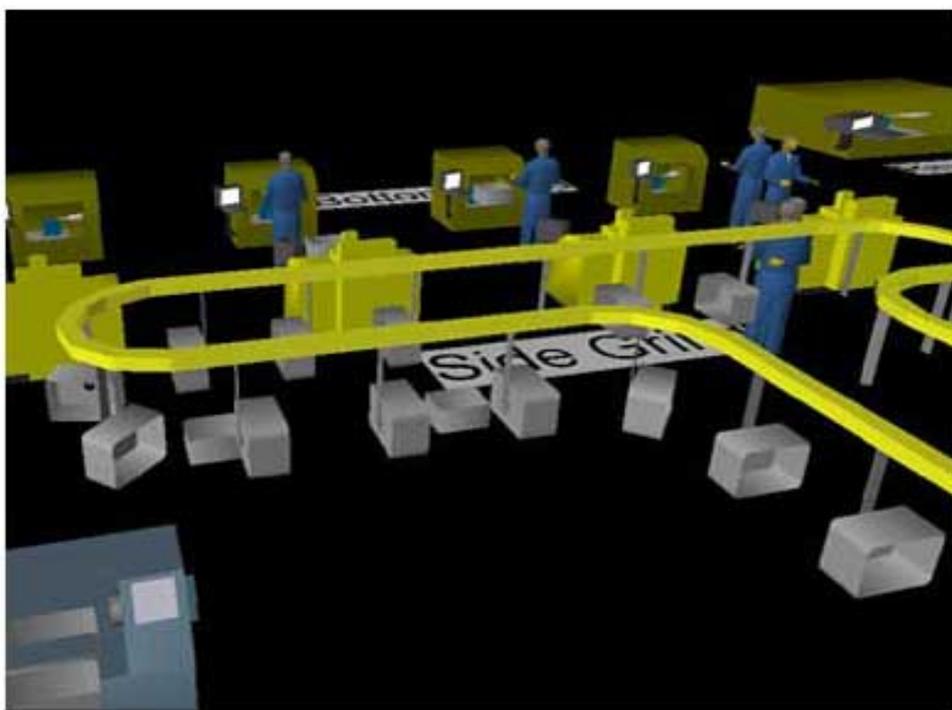


Figura 18: Ambiente de trabalho do 3D Animator.
Fonte: Promodel Corporation (2014).

O suporte técnico é dado por uma documentação de apoio que está disponível através do sistema de ajuda integrado do Promodel e tutoriais *on line*. O sistema de Ajuda usa o sistema do Windows que permite o máximo de

flexibilidade para procurar qualquer coisa a partir da sintaxe do comando para as descrições dos módulos de construção do modelo. O software Promodel também oferece tutoriais que contêm lições rápidas sobre como construir modelos, modelos executados, relatórios de saída de acesso, e como modelar vários aplicativos com o software. Além disso, o atendimento de dúvidas ou suporte técnico pode ser realizado por correio eletrônico, telefone ou diretamente no site (Harrell e Price, 2003 e Promodel Corporation, 2014).

Os resultados da simulação, com todas as medidas de desempenho do sistema, são informados e exibidos em forma de tabelas ou gráficos, sendo possível comparar os resultados de várias corridas de simulação em um mesmo gráfico.

O Simrunner é um software otimizador que está incluído no Promodel. De acordo com Eskandari *et al.* (2011) utiliza como heurística de busca as *evolution strategies* (ES) e os *genetic algorithms* (GA). Alguns parâmetros podem ser alterados no modelo de simulação, considerando os resultados a serem otimizados, tais como, o total de peças produzidas, o tempo de ciclo, o custo por unidade, entre outros. Com essas informações e as heurísticas de busca, o SimRunner define quantos e quais experimentos deve realizar e fornece a solução que tenta se aproximar do resultado ótimo (Harrell e Price, 2003 e Belge Consultoria, 2014).

O software Promodel admite ainda múltiplas execuções do modelo, definição de paradas baseadas em calendário, turnos de trabalho, entre outras opções. Os modelos podem ser executados com ou sem animação e a biblioteca de recursos aceita importar imagens de outros programas, como por exemplo, do software CAD.

Segundo Harrell e Price (2003), os elementos de modelagem do Promodel fornecem os blocos de construção para representar os componentes físicos e lógicos do sistema que está sendo modelado. Os elementos físicos do sistema, tais como peças, máquinas, ou recursos podem ser referenciados, graficamente ou pelo nome. A Figura 19 ilustra o sistema de menu suspenso utilizado para acessar os vários elementos do modelo. Todos os modelos devem ter Locais, Entidades, Processos e Chegadas.

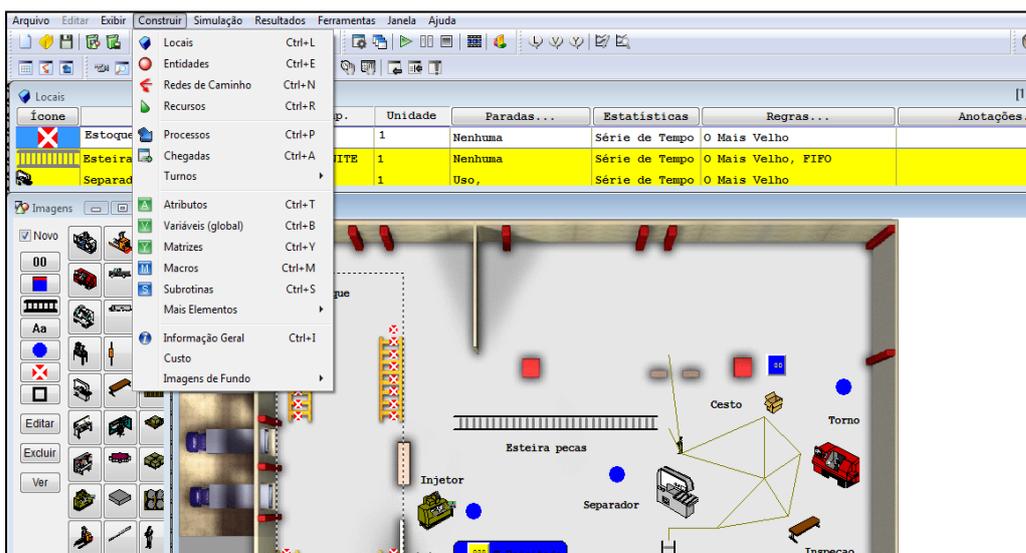


Figura 19: Elementos de modelagem do Promodel.

O elemento de modelagem Processo define a sequência de processamento e do fluxo lógico das entidades entre os locais. As operações ou serviços realizados nos locais requerem recursos, lógica de processamento, relação de entrada e saída e condições de roteamento. Os tempos de operação podem ser definidos por constantes, distribuições, funções, atributos, sub-rotinas, etc., ou uma expressão que contenha qualquer combinação destes. Lógica de funcionamento pode incluir *IF-THEN-ELSE*, loops, blocos de instruções e chamadas de sub-rotinas. A ferramenta *Logic Builder* aceita a edição da lógica das operações. O conjunto de comandos que podem ser utilizados nessa ferramenta está agrupado em diferentes classes, conforme ilustrado na tabela 10.

Organizações como GE, Exxon-Mobil, Ford, Praxair, Wright Brand Foods, General Motors, Cymer, Boeing, United Technologies, Fiat, Eastman Chemical, Kodak, Carrier, Dell, Elkay Manufacturing, Stihl, Whirlpool, Armstrong World Industries, IBM, Intel, 3M, Medtronic, Bausch & Lomb, Textron, Basic American, Foods, Batesville Casket, Becton Dickinson, FederalExpress, Bell Helicopter, DuPont, Olympus, Vale, Alumar, Electrolux e Gerdau, são alguns dos clientes do software Promodel (Belge consultoria e Promodel Corporation, 2014).

Tabela 10: Conjunto de comandos da lógica de funcionamento do Promodel.

Comandos				
Controle	Ação	Relacionados aos Recursos	Relacionados às Entidades	Sintaxe de Linguagem
<i>Begin, Break, End, Go To, Return, While do, etc</i>	<i>Activate, Animate, Close, Debug, Display, Pause, Order, Reset, Stop, Trace, View, Warmup, etc</i>	<i>Free, Free All, Get, Incentcost, Increscost, Jointly Get e Use</i>	<i>Mach, Move, Move for, Move on, Move with, Wait e Wait Until</i>	<i>Assignment, Comment, Int e Real</i>

6.3

Software de simulação Flexsim

A Flexsim Software Products, Inc. foi fundado em 1993 por Bill Nordgren, Roger Hullinger, e Cliff King. Originalmente, fornecia suporte, e conduzia treinamentos utilizando o software de simulação Taylor II. Em 1998 foi desenvolvida a primeira ferramenta de simulação orientada a objeto 3D, o Taylor ED (*Enterprise Dynamics*). Dr. Eamonn Lavery e Anthony Johnson juntaram-se à Flexsim Software Products, Inc. para estudar a arquitetura de produto e iniciar o desenvolvimento de uma nova geração de software de simulação orientado a objetos 3D chamado Flexsim, cujo primeiro lançamento ocorreu em 2003 com o Flexsim 1.0. A Flexsim Software Products, Inc. (FSP) tem sua sede em Orem, Utah. Possuem escritórios no Canadá, México, Índia, Alemanha, China, Brasil, bem como, alguns distribuidores regionais ao redor do mundo que fornecem suporte, treinamento e serviços de consultoria (Flexsim, 2014).

De acordo com Nordgren (2003), o software de simulação Flexsim possui um ambiente orientado a objeto, sendo utilizado para desenvolver, modelar, simular, visualizar e monitorar as atividades e sistemas de processo com fluxo dinâmico. O software Flexsim é um conjunto completo de ferramentas de desenvolvimento para modelagem e simulação. O ambiente do Flexsim é completamente integrado com o C ++ e usando flexscript (uma biblioteca C ++ que é pré-compilado) ou diretamente o C ++. Ainda segundo o autor, toda a animação usa o OpenGL, a mesma biblioteca de gráficos usada nos jogos 3D. A animação pode ser apresentada na visualização em 2D, 3D ou em uma visão de

árvore hierárquica. Todos os pontos de vista podem ser mostrados simultaneamente durante o desenvolvimento do modelo ou na fase de execução. O Flexsim pode ser usado para modelar fabricação, armazenagem, processos de manuseio de materiais, fabricação de semicondutores, processos de terminais de contentores marítimos, entre outras aplicações.

Para Garrido (2009), o Flexsim é uma ferramenta de software de simulação de eventos discretos que oferece animação gráfica realista e relatórios de desempenho extensos que permite ao usuário identificar problemas e avaliar soluções alternativas em um curto espaço de tempo. O software Flexsim permite que os resultados do modelo possam ser exportados para aplicações como Word ou Excel. Dados de entrada para a simulação também podem ser diretamente importados. O programa importa modelos tridimensionais (3D Studio MAX), WRL (VRML), DXF (AutoCAD), STL e importa arquivos do Excel. Dessa forma, o software permite que sejam usados formatos 3D customizados de suas construções, máquinas ou produtos, que podem ser usados como um layout topográfico ou de planta. O programa possui ainda uma ferramenta para gerar filme da simulação no formato AVI. (Flexsim, 2014).

O software Flexim possui o Experimenter, assim como também uma interface para o software OptQuest. O Experimenter está incluso no Flexsim e admite alterar rapidamente múltiplos conjuntos de variáveis permitindo assim, simular diferentes cenários, número de repetições e duração das execuções. O OptQuest não está incluso no Flexsim, sendo vendido separadamente. Através do mecanismo de otimização do OptQuest é possível identificar, segundo os parâmetros especificados, qual a melhor configuração para representar o modelo (Flexsim, 2014) .

Segundo Garrido (2009), um modelo de simulação de eventos discretos normalmente terá objetos dinâmicos conhecidos como *flowitems* que se movem ou fluem através do modelo. Um fluxo de processo é uma série de etapas de processamento, filas e de transporte no modelo. Cada etapa do fluxo de um processo representa uma tarefa e pode exigir um ou mais recursos.

Existem vários tipos de recursos e módulos utilizados na construção de um modelo de simulação conhecidos como objetos do Flexsim. Exemplos destes são: o objeto de origem (*Source*), o objeto de fila (*Queue*), o objeto de processo

(*Processor*), o objeto de dissipador (*Sink*), o objeto de agrupar (*Combiner*), o objeto de desagregar (*Separator*), entre outros. Esses objetos do Flexsim são encontrados no painel da biblioteca de objetos, localizado no lado esquerdo da tela ao abrir o Flexsim, como mostrado na figura 20.

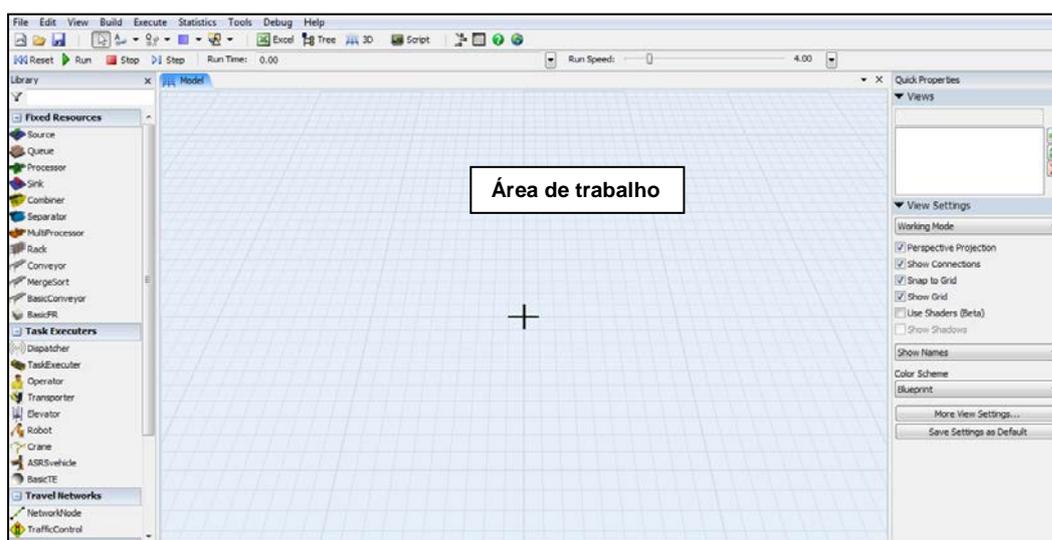


Figura 20: Ambiente de trabalho do software Flexsim.

Os objetos do software Flexsim são conectados para se comunicarem uns com os outros, de forma a definir o fluxo dos processos no modelo. Para ligar os diversos objetos do Flexsim, cada um destes tem três tipos de portas: entrada, saída e central. Portas de entrada e de saída são utilizadas no encaminhamento do fluxo dos itens (*flowitems*). Normalmente, a porta de entrada de um objeto é conectada a porta de saída de outro objeto. Para fazer referência de um objeto para outro se utilizam as portas centrais. Um exemplo é quando se referenciam objetos móveis como empilhadeiras, operadores e objetos fixos como máquinas (Flexsim, 2014).

A construção dos modelos é feita na tela inicial do Flexsim, na área de trabalho, conforme figura 21. A partir do painel da biblioteca de objetos, o usuário arrasta os objetos Flexsim necessários para a área de trabalho do modelo e em seguida os conecta. Quatro dos objetos do Flexsim mais comumente utilizados são: o *Source*, a *Queue*, o *Processor* e o *Sink*. O objeto *Source* cria os itens que fluem através do modelo. Esses itens são conhecidos como *flowitems*. O objeto *Queue* é um armazenamento temporário para itens que esperam a disponibilidade

de um recurso. O objeto *Processor* é um recurso que simula uma fase de processamento no fluxo do processo do modelo. O objeto *Sink* tem como objetivo realizar a terminação para os itens do fluxo no modelo (Garrido, 2009). A figura 21 ilustra um modelo com os objetos básicos do Flexsim.

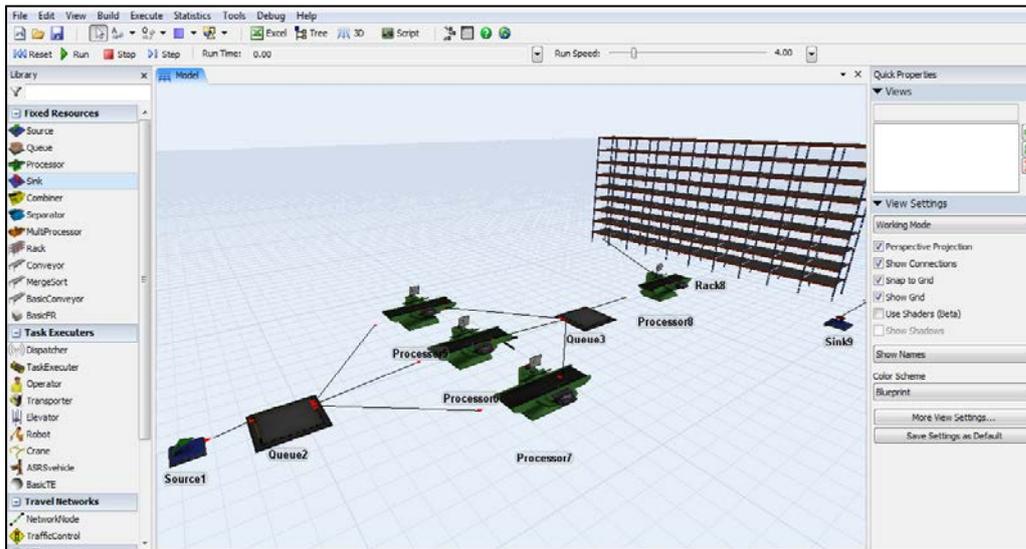


Figura 21: Exemplo de um modelo contendo os objetos *Source*, *Queue*, *Processor* e *Sink*.

Os parâmetros que definem a simulação são encontrados nos objetos do Flexsim. Com um duplo clique em cima dos objetos abrirá uma tela com os respectivos parâmetros. A figura 22 mostra a tela para os objetos *Queue* e *Processor*.

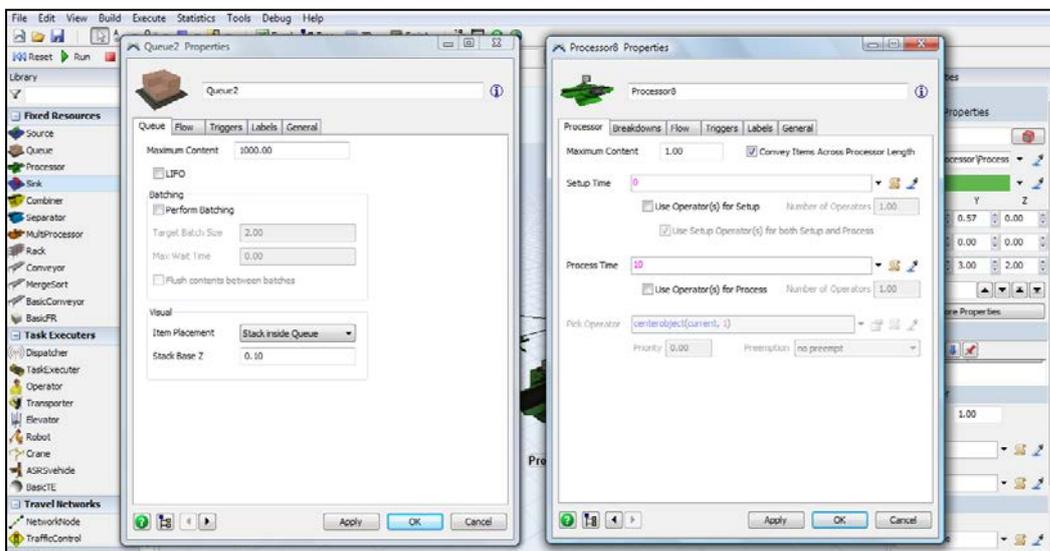


Figura 22: Telas de entrada dos parâmetros dos objetos *Queue* e *Processor*.

De acordo com Nordgren (2003), uma vez que o objeto é colocado no layout, o usuário pode girar o objeto na direção dos eixos x, y e z e alterar a elevação no eixo z usando o mouse para a orientação adequada. Este processo pode ser usado até a conclusão do layout e também durante a execução do modelo. Os resultados de cada simulação podem ser vistos de forma dinâmica com animação 2D, 3D e VR enquanto o modelo está em execução.

Greenwood e Beaverstock (2011) ressaltam que o software Flexsim também tem sido utilizado para fins de treinamento e educação. Um estudo com modelagem utilizando o Flexsim pode fornecer subsídios sobre as dependências complexas e dinâmicas para resolver problemas de um sistema de vida real.

Organizações como General Mills, Daimler Chrysler, Northrop Grumman, Discover Card, DHL, Bechtel, Bose, Michelin, FedEx, Seagate Technologies, Pratt & Whitney, TRW, Whirlpool, Stop & Shop, Arcelor Mittal, Kaiser Aluminum, Baker Hughes, Scheffer, Ford, Fiat, Volkswagen, Pfizer e Coca-Cola são alguns dos clientes usuários deste software de simulação (Flexsim, 2014).

No próximo capítulo será apresentada a segunda contribuição desse trabalho que consiste na elaboração de uma metodologia para a escolha do software de simulação adequado.

7

Avaliação e seleção de softwares de simulação: proposta

Neste capítulo será proposta uma metodologia para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos direcionada para manufaturas. O método está organizado em duas etapas. A primeira etapa analisa os processos operacionais dos sistemas produtivos com o objetivo de verificar se a empresa em estudo possui as condições básicas para se adotar a simulação computacional; isso se faz pela aplicação de um modelo de maturidade. A segunda etapa consiste em avaliar a qualidade dos recursos dos softwares de simulação em relação a um conjunto de requisitos ponderados pelo usuário. A seleção será feita através do uso do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), utilizado na resolução de problemas de multicritérios. Para um melhor entendimento será realizada uma abordagem sobre esse método no item 7.1.

7.1

Método de análise hierárquica AHP

O AHP separa a decisão de avaliação em níveis de hierarquia e tenta reduzir as inconsistências do julgamento humano. Ele foi originalmente usado para situações socioeconômicas e políticas, mas ultimamente ele tem se mostrado útil para a tomada de decisão de julgamento em outras áreas, tais como a seleção de equipamentos, de materiais e de softwares (Gupta et al., 2010). A figura 23 representa uma estrutura hierárquica de um problema de seleção de alternativas, onde C_{11} , C_{12} , ..., C_{1n} são os critérios do primeiro nível hierárquicos, C_{21} , C_{22} , ..., C_{2n} são os critérios do segundo nível hierárquico e A_1 , A_2 , ..., A_n são as alternativas para seleção.

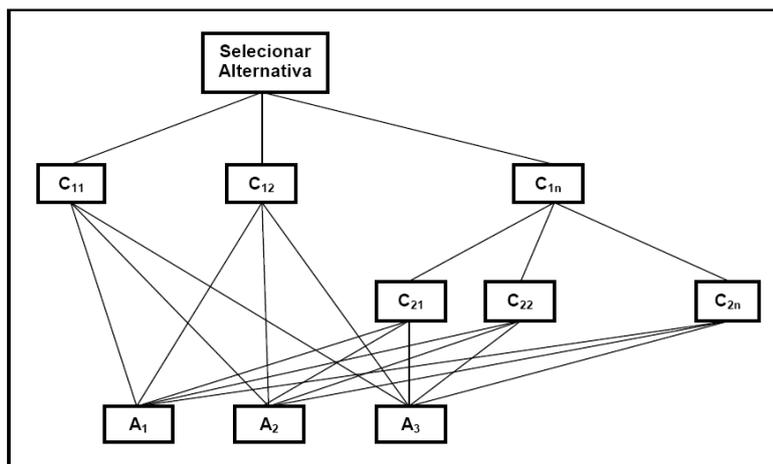


Figura 23: Estrutura hierárquica de um problema de seleção de alternativas.

Ao usar a técnica de AHP todos os critérios são comparados por pares, usando a escala de julgamentos de Saaty e Rogers (1976) mostrada na Tabela 11, a fim de determinar quais são os critérios mais importantes em relação aos outros. Os valores pares, 2, 4, 6 e 8 servem para medir situações intermediárias. Com essa escala pode-se comparar uma alternativa com outra e dizer em que medida a primeira está superior ou inferior a segunda em relação a um determinado critério. Comparar várias alternativas com relação a um critério conduz a uma matriz de avaliação de $n \times n$, sendo n o número de comparações.

Tabela 11: Escala de julgamento.

Importância	Significado
1	Igual importância
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A figura 24 representa uma matriz com as alternativas A_1 , A_2 e A_3 , onde I_{mn} é a intensidade de importância correspondente à linha m e a coluna n .

	A₁	A₂	A₃
A₁	I₁₁	I₁₂	I₁₃
A₂	I₂₁	I₂₂	I₂₃
A₃	I₃₁	I₃₂	I₃₃

Figura 24: Matriz de comparação das alternativas A₁, A₂ e A₃.

Ressalta-se que essa matriz deve ser recíproca, ou seja, duas condições devem ocorrer: $I_{mn} = 1 / I_{nm}$ e $I_{mm} = I_{nn} = 1$. Quando essas duas condições não ocorrerem temos uma inconsistência na avaliação das alternativas frente a um critério.

O método AHP completo, sugerido por Saaty e Rogers (1976), supondo inconsistência na avaliação, recomenda o cálculo dos autovalores e autovetores ou vetores de prioridades da matriz. O autovetor associado ao maior autovalor dará a prioridade, ou a medida de avaliação global de cada alternativa permitindo colocá-las em ordem com relação ao critério tratado. Uma estimativa para o cálculo do autovetor inicia-se pela normalização das colunas, dividindo cada elemento da matriz pelo somatório dos valores de cada coluna (**IN**), conforme equação 1. Em seguida, calcula-se a média dos valores normalizados para cada linha, conforme equação 2, encontrando-se os valores do autovetor (**AV**).

$$IN_{mn} = I_{mn} / \sum_m I_{mn} (\forall m, n) \quad \text{Equação 1}$$

$$AV_m = \sum_n IN_{mn} / n (\forall m, n) \quad \text{Equação 2}$$

Para estimar o autovalor deve-se inicialmente verificar a consistência dos julgamentos das intensidades de importância na matriz de comparação das alternativas. Para isso, multiplica-se a matriz de comparação pelo autovetor estimado obtendo-se o vetor **V**, conforme a equação 3.

$$\begin{bmatrix} I_{11} & \cdots & I_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{m1} & \cdots & I_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} AV_1 \\ \vdots \\ AV_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_m \end{bmatrix} \quad \text{Equação 3}$$

Em seguida divide-se cada elemento do vetor \mathbf{V} pelo respectivo elemento do autovetor \mathbf{AV} obtendo-se o vetor de estimativas λ , conforme a equação 4.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_m \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} AV_1 \\ \vdots \\ AV_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} \quad \text{Equação 4}$$

Calculando-se a média dos valores do vetor de estimativa λ chega-se ao maior autovalor λ_{\max} , conforme equação 5.

$$\lambda_{\max} = \sum_{m=1}^n \lambda_m / n \quad \text{Equação 5}$$

Para a avaliação da consistência dos julgamentos deve-se calcular primeiro o índice de consistência \mathbf{IC} , conforme equação 6, onde \mathbf{n} representa a ordem da matriz.

$$\mathbf{IC} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{Equação 6}$$

Em seguida comparar com o índice randômico \mathbf{IR} obtendo-se a razão da consistência \mathbf{RC} , tabela 12 e equação 7 respectivamente.

Tabela 12: Índice randômico pela ordem da matriz.

Ordem da Matriz	IR	Ordem da Matriz	IR
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56
7	1,32	14	1,57
8	1,41	15	1,59

Fonte: adaptado de Saaty (1980).

$$RC = IC/IR$$

Equação 7

De acordo com Saaty (1980), o valor do índice razão da consistência **RC** deve ser menor que 0,1 indicando consistência nas avaliações. Caso contrário, ou seja, **RC** maior que 0,1 devem ser revistas às avaliações dos julgamentos das intensidades de importância.

Todos esses cálculos têm de serem feitos para cada critério e subcritérios frente às alternativas. Dessa forma, todos os autovetores de um determinado nível hierárquico devem formar uma matriz de avaliação e essa por sua vez deve ser multiplicada pelo autovetor do critério do nível imediatamente acima. Esse procedimento deve ser repetido em todos os níveis até a obtenção do autovetor final que dará a classificação das alternativas.

Porém os cálculos podem ser simplificados se for garantida a consistência de uma avaliação. Leal (2008) desenvolveu um método para calcular as prioridades garantindo consistência nas análises, ou seja, $I_{mn} = 1 / I_{nm}$ e $I_{nk} = I_{mk} / I_{mn}$. Dessa forma, uma matriz de julgamentos consistente pode ser construída, conforme a figura 25.

	A_1	A_2	A_3	...	A_k
A_1	l_{11}	l_{12}	l_{13}	...	l_{1k}
A_2	l_{11}/l_{12}	l_{12}/l_{12}	l_{13}/l_{12}	...	l_{1k}/l_{12}
A_3	l_{11}/l_{13}	l_{12}/l_{13}	l_{13}/l_{13}	...	l_{1k}/l_{13}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
A_k	l_{11}/l_{1k}	l_{12}/l_{1k}	l_{13}/l_{1k}	...	l_{1k}/l_{1k}

Figura 25: Matriz de comparação das alternativas A_1, A_2, A_3, \dots e A_n construída consistentemente a partir dos valores da 1ª linha.

Inicia-se o cálculo do autovetor ou prioridades pelo somatório dos elementos de cada coluna (S_k), conforme a equação 8.

$$S_k = l_{1k} / \sum_n 1/l_{1n} \quad \text{Equação 8}$$

Em seguida divide-se cada elemento da matriz pela soma de sua respectiva coluna obtendo-se a matriz normalizada, conforme a figura 26.

	A_1	A_2	A_3	...	A_k
A_1	$1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/\sum_n 1/l_{1n}$...	$1/\sum_n 1/l_{1n}$
A_2	$1/l_{12} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{12} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{12} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$...	$1/l_{12} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$
A_3	$1/l_{13} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{13} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{13} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$...	$1/l_{13} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
A_k	$1/l_{1k} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{1k} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$	$1/l_{1k} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$...	$1/l_{1k} * 1/\sum_n 1/l_{1n}$

Figura 26: Matriz normalizada de comparação das alternativas A_1, A_2, A_3, \dots e A_n construída consistentemente a partir dos valores da 1ª linha.

O cálculo para a prioridade de cada alternativa é dada pela média de cada linha. Porém observa-se que todos os elementos de uma linha são iguais. Dessa maneira, supondo consistência nos julgamentos, as prioridades podem ser calculadas de acordo com a equação 9.

$$\text{Pr}_k = (1/I_{1k}) * 1 / \left(\sum_n 1/I_{1n} \right) \quad \text{Equação 9}$$

Considerando consistência na matriz de avaliação, pode-se fazer a comparação apenas da alternativa com a melhor avaliação em relação a todas as demais, não precisando calcular toda a matriz. Na realidade a melhor alternativa não necessita estar na primeira coluna da linha de comparação. O importante é que todas as comparações sejam feitas com relação a ela que receberá o valor 1.

Desta forma, basta comparar uma alternativa com todas as outras. A prioridade total de cada alternativa é obtida multiplicando o valor da prioridade da alternativa em cada critério pela prioridade de cada critério e somando para todos os critérios.

Para o caso particular de dois níveis de critérios e um nível de alternativas, podemos definir que o primeiro nível de critérios possui $nc1$ critérios i , onde a prioridade de cada critério i é dada por $\text{Pr } C1_i$. Cada critério i do primeiro nível possui $ns2$ subcritérios j no segundo nível. A prioridade para cada subcritério j do critério i é definida por $\text{Pr } S2_{ij}$. O nível das alternativas possui na alternativas que serão avaliadas frente a cada subcritério j com uma prioridade $\text{Pr } A_j$. A prioridade final de cada alternativa A será calculada conforme a equação 10.

$$\text{Pr } A = \sum_i^{nc1} \text{Pr } C1_i \left(\sum_j^{ns2} \text{Pr } S2_{ij} * \text{Pr } A_j \right) \quad \text{Equação 10}$$

7.2

Modelo proposto: avaliação da maturidade

A elevada competitividade entre as indústrias levam as empresas a necessitarem de aprimorar continuamente seus processos de fabricação exigindo, portanto, mudanças contínuas no ambiente de manufatura. Dessa forma, novos desafios são criados e as empresas precisam estar preparadas para enfrentá-los e continuar no negócio. Uma das exigências vitais para a sobrevivência está na capacidade de uma empresa reconhecer uma ineficiência ou uma oportunidade de

melhoria em um dos seus processos, encontrar uma solução ou um conjunto de soluções e adaptar as mudanças de acordo com as necessidades do mercado global.

Göleç e Taskin (2007) ressaltam que nas últimas duas décadas muitas empresas de manufatura fizeram esforços consideráveis na tentativa de melhorar suas operações usando as melhores práticas de gestão, tais como *Just In Time*, Gestão da Qualidade Total entre outras. De acordo com os autores, muitas vezes, essas tentativas falharam na obtenção dos resultados esperados. A razão para não conseguirem atingir seus objetivos é devido a uma má compreensão das necessidades gerais dos negócios, resultando na seleção de projetos e sistemas inadequados.

Uma manufatura transforma, basicamente, material bruto em material com algum valor agregado, usando mão de obra, maquinário, transporte e logística. Um sistema de produção reconfigurável é composto por vários elementos que representam os componentes intangíveis (lógicos) e tangíveis (físicos). Esses elementos podem ser classificados como maquinários, processamentos, organização e mão de obra. Os maquinários são as instalações e os equipamentos em geral da fábrica. O processamento leva em consideração as transformações e/ou movimentações dos materiais. Organização envolve principalmente manter um determinado controle sobre o sequenciamento dos processos como o planejamento e controle da produção. O elemento mão de obra inclui a estrutura da equipe como quantidade, capacitação técnica e vínculos empregatícios.

De acordo com a visão geral da literatura apresentado no capítulo 2, as potencialidades de aplicação da metodologia de simulação são muito grandes, podendo assim, contribuir na tomada de decisão em relação aos processos dos sistemas de produção. Dessa forma, é possível modelar os processos físicos e lógicos, nos níveis hierárquicos operacional, tático e estratégico com a intensidade de detalhamento desejada pelo usuário.

Há uma necessidade de desenvolver um quadro em que as novas tecnologias e suas capacitações possam ser avaliadas e conduzidas em termos de contribuição para uma evolução de maturidade e eficácia. O desafio é compreender o impacto da tecnologia de interesse sobre os objetivos das organizações.

Alinhando os modelos de maturidade com o uso de novas tecnologias, este capítulo tem por intuito contribuir para a geração de conhecimento acerca de como situar uma indústria em relação ao grau de maturidade dos seus processos produtivos, de forma a estar em condições de aplicar a metodologia de simulação computacional. Portanto, uma metodologia de autoavaliação com foco nos processos operacionais dos sistemas produtivos será proposta como base para determinar o *status quo* de uma indústria em relação ao nível de desenvolvimento dos seus processos. Isso será medido através de uma métrica, que indicará os estágios de maturidade dos seus processos.

O ponto de partida para a confecção do modelo foi estabelecer qual o tipo de estrutura a ser usada para representar o desenvolvimento da maturidade. Os modelos apresentam dois tipos diferentes de estrutura de graduação: hierárquica e orientada para o processo. Na estrutura hierárquica o nível de maturidade é progressivo e sequencial. A classificação do nível é feita através de um conjunto de requerimentos ou capacitações. Na estrutura orientada para o processo o nível da maturidade para cada processo é indicado por um perfil que permite estabelecer medidas que habilitam a implementação de métricas dirigida aos programas de melhorias. A progressão não é necessariamente sequencial. No caso do modelo desenvolvido nesse trabalho, foi adotada a estrutura hierárquica por permitir, através de algumas capacitações, avaliar se o processo em análise está apto para usar a metodologia de simulação computacional.

Com relação à quantidade de níveis, Weckenmann e Akkasoglu (2013) ressaltam que os modelos com estruturas hierárquicas consistem de quatro a seis níveis. Considerando que a maioria dos modelos apresentados no capítulo 3 com estrutura hierárquica possui cinco níveis, exceção do modelo PEMM com quatro níveis, e com base na escala proposta por Crosby (1979) com cinco níveis para avaliar o desenvolvimento da qualidade dos processos, foi adotado para o modelo proposto cinco níveis denominados de: Básico, Embrionário, Estruturado, Gerenciado e Otimizado.

De acordo com o Project Management Institute - PMI (2003), para realizar a verificação da progressão da maturidade é necessário que as organizações apresentem um conjunto consolidado de Melhores Práticas (BP's – *Best Practices*). Ou seja, um conjunto de capacitações que ajudará na condução das

organizações em atingir os seus objetivos. Assim, a análise da progressão das Melhores Práticas é feita em relação ao desenvolvimento da padronização, medição, controle e aprimoramento contínuo.

É importante ressaltar que, para a aplicação da metodologia de simulação computacional, recomenda-se que as indústrias ou setores possuam algumas condições básicas. Os processos devem estar definidos, documentados, ter dados estatísticos, trabalhar com melhoria contínua, ter especialistas nos processos, estar de alguma maneira praticando gestão da qualidade. De uma maneira em geral os processos devem estar estruturados e documentados, permitindo assim, trabalhar com estabilidade e acumular o conhecimento de como realizar as atividades.

Com base nesses requisitos, nas Melhores Práticas, no levantamento bibliográfico apresentado no capítulo 3, nas observações realizadas pelo autor ao longo de sua carreira como gestor de manufaturas e com foco em um processo estruturado, foram propostas 6 capacitações, usadas para avaliação de cada um dos 5 níveis dos processos operacionais dos sistemas produtivos: conhecimento sobre simulação, padronização dos processos, desenvolvimento dos especialistas, organização dos processos, sistemas de medição e avaliação e programas de gerenciamento. Cada capacitação é descrita a seguir.

Conhecimento sobre simulação (CS): Inclui conhecimentos sobre modelagem, verificação e validação de modelos, softwares de simulação, estudos estocásticos, e estudos de casos com aplicação de simulação computacional. Esses conhecimentos devem estar desenvolvidos nos gestores dos processos em questão.

Padronização dos processos (PP): Existe uma documentação técnica desenvolvida e implantada que visa minimizar a ocorrência dos desvios na execução de atividades, independente de quem as faça, garantindo assim, a uniformidade dos processos envolvidos. Essa capacitação deve ser difundida entre todos os participantes dos processos operacionais.

Desenvolvimento dos especialistas (DE): Representa o grau de conhecimento técnico sobre os processos durante os anos de aprendizado fornecendo a eles a habilidade de entender e explicar como os fenômenos ocorrem. O conhecimento desses profissionais impacta diretamente na qualidade dos resultados das simulações.

Organização dos processos (OP): Representa o grau de controle do sequenciamento dos processos, garantindo assim, um desempenho eficiente e eficaz dos fluxos produtivos em uma empresa.

Medição e avaliação (MA): Dispõe de informações qualitativas e quantitativas sobre qualquer atividade de interesse. Com essas informações pode-se diagnosticar e compreender os problemas relacionados ao desempenho dos processos envolvidos.

Programas de gerenciamento (PG): Expressa o grau de domínio do conhecimento sobre gerenciamento em programas que são realizados em função das políticas internas e das estratégias necessárias para o bom funcionamento dos processos em uma empresa. Assim poderá agregar valor, demonstrar seus objetivos, obter crescimento ordenado entre outros fatores importantes para a continuidade do negócio.

Os 5 níveis foram modelados com a seguinte proposta:

Nível 1: **Básico.** Não existe nenhum tipo de conhecimento sobre a metodologia de simulação. Os processos não são repetitivos, não existe padronização. Não existe também nenhum incentivo para o desenvolvimento de especialistas nos processos. A organização dos processos é bastante precária. Os sistemas de medição e avaliação são inexpressíveis. Não adotam programas de gerenciamento e qualidade. Neste nível, apenas alguns dos fundamentos de uma boa operação existem no local, mas nem todos eles bem implantados. Não possuem um ambiente estável, estruturado e documentado. Podemos chamá-lo de processo caótico.

Nível 2: **Embrionário.** São dados os primeiros passos em direção ao nível 3. Existe um interesse em conhecer a metodologia de simulação por parte dos gestores. De uma maneira tímida são implantados alguns padrões em alguns processos. Ainda não existem especialistas nos processos. Primeiras iniciativas de organização dos processos são dadas. Alguns procedimentos começam a ser esboçados. Sistemas de medição e avaliação são feitos através de apontamentos manuais e em pontos isolados. As informações de desempenho começam a ser compartilhadas, porém de uma forma irregular. Ainda não se adotam programas de gerenciamento e qualidade.

Nível 3: **Estruturado**. Existe conhecimento sobre o tema simulação obtido através de apresentações, leituras técnicas ou internet. Os processos são formalmente descritos e o uso de padrões, procedimentos, ferramentas e métodos estão em implantação. Com esse conhecimento dos processos começa a se desenvolver os especialistas. Há análise de medição, controle e planejamento das atividades. Inspeções e manutenção de qualidade começam a ser executadas. Processos de engenharia também são aplicados neste nível. Práticas da gestão da qualidade estão em implantação.

Nível 4: **Gerenciado**. O conhecimento sobre o tema simulação foi obtido através dos cursos e/ou treinamentos. Há um gerenciamento de projetos e processos, incluindo a organização dos produtos e seu controle. Existe um planejamento e uma programação da produção com o objetivo de atender a demanda no prazo estabelecido com um maior rendimento e produtividade. A equipe de gestão tem visibilidade sobre o status dos processos. Alguns processos são escolhidos para que possam ser estatisticamente e quantitativamente controlados e geridos. Causas especiais de variação do processo são identificadas e analisadas. Programas de gerenciamento estão implantados.

Nível 5: **Otimizado**. Evolução do nível 4. Os processos são continuamente melhorados por meio de ações incrementais e inovações. Objetivos quantitativos são estabelecidos e revistos para a melhoria dos processos. Neste nível as indústrias adotam programas como: *Organizational Process Performance (OPP)*, *Quantitative Project Management (QPM)*, *Organizational Performance Management (OPM)*, *Causal Analysis and Resolution (CAR)*, entre outros.

A tabela 13 apresenta as relações entre as capacitações e os níveis de maturidade desse modelo de avaliação.

Tabela 13: Relação entre as capacitações e os níveis de maturidade.

Níveis de Maturidade	Capacitações					
	CS	PP	DE	OP	MA	PC
Básico	Não existe	Não existe	Não existe	Precário	Inespressível	Não existe
Embrionário	Noções	Tentativas isoladas	Não existe	Básico	Básico	Não existe
Estruturado	Básico	Em implantação	Básico	Médio	Médio	Em implantação
Gerenciado	Médio	Implantado	Médio	Avançado	Avançado	Implantado
Otimizado	Avançado	Implantação avançada	Avançado	Avançado	Avançado	Implantação avançada

Segundo o OPM EXPERTS (2004) um indicador de desempenho pode ser definido como: “Critério pelo qual a organização pode determinar qualitativamente ou quantitativamente, se o resultado associado com a capacitação existe e/ou o grau em que existe”. Ainda conforme o OPM EXPERTS (2004) quando um indicador de desempenho é qualitativo, é imprescindível uma forma métrica resultando em uma medição direta. Deve-se transformar em uma característica mensurável, fazendo-se uma pesquisa e estabelecendo uma escala de forma a se conseguir uma classificação.

Uma avaliação para cada um dos níveis de maturidade do modelo é proposta através da aplicação de um questionário com 33 questões. As perguntas estão agrupadas por tipo de capacitação e devem ser respondidas através de uma escala de percepção com cinco opções que variam desde discordo totalmente até concordo totalmente. A avaliação do nível de maturidade para cada capacitação (ANMC) será feita da seguinte forma:

-associação de valores numéricos para cada opção respondida no questionário:

a) 0; b) 2,5; c) 5,0; d) 7,5 e) 10

-aplicação da equação 11:

$$ANMC = \left(\sum_{i=1}^n Q_i / n \right) * 10$$

Equação 11

Onde:

Q – Valor numérico associado à opção de cada questão *i*.

n – número de questões correspondente a cada capacitação.

A pontuação obtida pode variar de 0 até o máximo de 100. A faixa de pontuação foi dividida em intervalos iguais entre os 5 níveis do modelo e a classificação do nível de maturidade para cada capacitação se dará conforme essa faixa de pontuação, tal como apresentada na tabela 14. A avaliação final do nível de maturidade do modelo (ANMM) será feita pela média dos ANMC's, já que todas as capacitações possuem o mesmo peso.

A classificação final também segue a tabela 14. Os resultados finais obtidos nessa avaliação permitem à organização obter um retrato do seu nível global de maturidade no que diz respeito aos seus processos operacionais.

Tabela 14: Classificação da maturidade em função da faixa de pontuação.

Nível de maturidade	Faixa de pontuação
Básico	>= 0 - < 20
Embrionário	>= 20 - < 40
Estruturado	>= 40 - < 60
Gerenciado	>= 60 - < 80
Otimizado	>= 80 - <= 100

O modelo sugere quatro cores para verificar o status da maturidade.

Verde: Os processos operacionais têm todas as condições básicas para adotar a metodologia de simulação computacional.

Amarelo: Embora exista necessidade de ajuste, as capacitações se apresentam mais maduras. Há pontos de atenção. Pode-se usar a simulação computacional.

Laranja: As capacitações ainda estão no início do seu desenvolvimento. Há necessidade de muita atenção e esforço para a evolução dos processos em atingir níveis mais altos. O uso da simulação deve ser moderado, como por exemplo, em estudos de casos isolados.

Vermelho: Capacitações inexistentes, precárias ou inexpressíveis. Há muito que fazer antes de usar a simulação computacional.

Uma vez analisado e estabelecido o nível de maturidade de uma indústria em relação ao grau de maturidade dos seus processos produtivos, podem ser definidas ações para que a organização atinja níveis mais altos de maturidade. Recomenda-se um planejamento de um conjunto de treinamento, assim como também, realizar melhorias em seus processos de gerenciamento visando evoluir entre os níveis para cada capacitação. Esse planejamento deverá considerar a situação atual e futura da organização.

7.3

Modelo proposto: avaliação e seleção de software

Nesta etapa será descrito um método para auxiliar na avaliação e seleção dos softwares de simulação de eventos discretos direcionados para o desenvolvimento de modelos aplicados na indústria. Os critérios adotados foram baseados nos trabalhos abordados no capítulo 4, tendo sido incluídos também, com base na experiência do autor como gestor de manufaturas, alguns critérios relevantes à modelagem e às aplicações nos processos operacionais dos sistemas produtivos. O objetivo é conseguir mapear as características desejáveis nos softwares de simulação de forma a atender as necessidades específicas dos processos operacionais dos sistemas produtivos.

A quantidade de critérios e subcritérios avaliados variam de 14 - Davis e William (1994) e 17 – Sawant e Mohite (2011) até 204 – Gupta *et al.* (2010) e 266 - Hlupic *et al.* (1999). Com relação à quantidade de níveis hierárquicos, a maioria dos trabalhos apresentados possuem dois níveis, com exceção dos trabalhos de Banks (1991) e Hlupic *et al.* (1999) com três níveis e Nikoucaran *et al.* (1999) com mais de três níveis.

Outra observação a ser feita é que, embora se encontrem critérios com o mesmo nome, isso não significa que tenham a mesma finalidade. Por exemplo, o critério de animação no trabalho de Banks (1991) tem a intenção de oferecer facilidade no desenvolvimento, qualidade de imagem, suavidade no movimento, portabilidade para visualização remota e interface com o software CAD. Já no

trabalho de Tewoldeberhan *et al.* (2002) tem a finalidade de avaliar a integração da animação, biblioteca de imagens, layout da tela, modo de animação simultânea, recurso *on / off*, animação 3D e os recursos de desenvolvimento. Em outro exemplo, a análise estatística no trabalho de Hlupic *et al.* (1999) considera 12 subcritérios, tais como: quantidade de distribuições estatísticas, ajuste de distribuições, testes de aderência, intervalo de confiança etc. Já no trabalho de Tewoldeberhan *et al.* (1999) a análise estatística é apresentada como um subcritério de desenvolvimento do modelo, somente como distribuição estatística.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o nível de desenvolvimento de tecnologia computacional na época em que os critérios foram abordados nestes trabalhos. Por exemplo, interface com *mouse*, teclado, *trackball* e *scanner*; qualidade na imagem; comando *undo/redo*; versões auto executáveis – esses critérios, entre outros, perdem o sentido nos dias de hoje, devido ao fato de os softwares já virem com interface para esses e outros hardwares, com versões autoexecutáveis, e possuem diversas funções nos seus menus principais.

Portanto, a tabela 8 do capítulo 4 tem a intenção de mostrar a tendência dos critérios avaliados e ajudar a entender a estruturação do modelo proposto neste trabalho. Percebe-se uma preocupação com os dados de entrada e saída, assim como também com o suporte para o usuário e o segmento de avaliação e teste dos modelos. Critérios isolados como atributos das entidades e variáveis globais, relatórios personalizados e padronizados, análises estatísticas, gráficos, animação, otimização, entre outros, podem ser subcritérios de critérios mais gerais como desenvolvimento e execução de modelos. Nem todos os trabalhos apresentam critérios com relação a custos, porém julgou-se necessário ter critérios de avaliação nesse sentido, de forma que os gestores, durante a avaliação de um software de simulação, decidam usar ou não esse grupo de critérios em função de cada situação encontrada. Por fim, critérios como portabilidade, compatibilidade, versão em rede e dispositivos de segurança foram considerados subcritérios de requisitos técnicos. Julgou-se necessário identificar diferenças entre os softwares avaliados em relação ao grau da dificuldade e ao custo para customização, assim como também, ao grau da exigência e do tipo de programação. Dessa forma, foram incluídos seis subcritérios considerados relevantes, tais como custo de customização, variáveis específicas para custo, nível de customização, nível de

programação, programação orientada por fluxograma e programação orientada por objeto.

Os critérios propostos foram divididos em sete grupos conforme a tabela 15, totalizando 56 itens.

. Uma avaliação para cada um dos critérios e para cada um dos grupos de critérios será feito através da aplicação de um questionário com 63 questões. Os entrevistados classificarão os critérios e os grupos de critérios propostos, de acordo com as suas necessidades e objetivos. As perguntas devem ser respondidas através de uma escala de percepção com cinco opções: (a) totalmente indispensável, (b) parcialmente indispensável, (c) neutro, (d) parcialmente dispensável e (e) totalmente dispensável.

Deve-se avaliar a importância de cada um dos critérios e grupos de critérios segundo as características do processo que está em estudo e os objetivos que desejam ser obtidos

Uma estrutura hierárquica para o problema em questão é apresentada na figura 27, onde GC_1, GC_2, \dots, GC_7 representam os grupos de critérios, $C_1GC_1, C_2GC_1, \dots, C_nGC_7$ são os critérios e S_1, S_2 e S_3 são os softwares de simulação em estudo.

Os critérios e os grupos de critérios receberão uma ponderação, seguindo a escala de intensidade de Saaty (1980), variando de mais importante para a opção totalmente indispensável até a de menor importância para a opção totalmente dispensável, conforme a tabela 16.

O processo segue analisando a qualidade dos recursos dos softwares de simulação de eventos discretos em relação a cada critério. Assim, o software que estiver mais adequado a um determinado critério, receberá a ponderação de mais importante.

Tabela 15: Critérios propostos para avaliação do software de simulação.

Requisitos técnicos gerais	Entrada e saída de dados	Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento	Requisitos técnicos específicos: Execução	Avaliação da eficiência	Suporte técnico	Custos
Portabilidade	Importar e exportar dados	Interface gráfica	Configurar parâmetros	Localização e correção de erros	Manual	Aquisição
Compatibilidade	Informações estatísticas dos dados de entrada	Biblioteca com símbolos	Interação do usuário	Validação do modelo	Tutorial	Instalação
Versão em rede	Informações estatísticas dos dados de saída	Editores para símbolos	Visualizar uma animação	Consistência da lógica	Suporte <i>on line</i>	Treinamento
Dispositivos de segurança	Coleta automática	Importar símbolos	Ativar ou desativar a animação		Versão <i>demo</i>	Customização
	Entrada <i>batch</i>	Importar imagens gráfico de fundo	Visualizar os valores instantâneos das variáveis		Treinamento especializado	Suporte técnico
	Entrada interativa	Editores para imagens gráfico de fundo	Animação em 3D		Atualizações	
	Verificação da consistência	Incorporar/unir modelos	Otimização			
		Assistente para codificação	Programação orientada por fluxograma			
		Código fonte	Programação orientada por objeto			
		Funções internas	Nível de customização			
		Editores para funções internas	Nível de programação			
		Variáveis e atributos	Qualidade visual			
		Biblioteca com objetos programáveis	Opções de experimentação			
		Programação de horários				
		Regras para o roteamento				
		Regras para a formação das filas				
		Variáveis específicas para custos				
		Nível de aprendizagem				

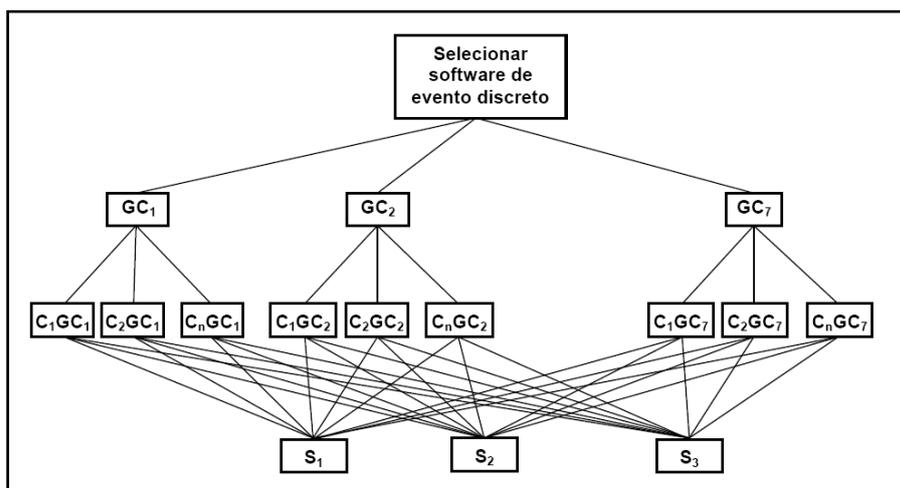


Figura 27: Estrutura hierárquica para seleção do software de simulação.

Tabela 16: Atribuição de pesos para os critérios e grupos de critérios.

Critérios/Grupos de Critérios	Totalmente Indispensáveis	Parcialmente Indispensáveis	Neutro	Parcialmente Dispensáveis	Totalmente Dispensáveis
Totalmente Indispensáveis	1	3	5	7	9

Para a ponderação dos critérios frente aos softwares, utilizando a escala de intensidade de Saaty (1980), procurou-se por uma pessoa ou um grupo de especialistas em simulação de eventos discretos e que não tivessem vínculos com as empresas fornecedoras dos softwares em avaliação. Sendo assim, o autor desse trabalho se qualificou por possuir treinamento em nível avançado nos softwares, não ter vínculo com os fornecedores e ministrar aulas de simulação com esses softwares no nível de graduação e pós-graduação.

Além disso, foram utilizadas, como fonte de informações, publicações de conferências, tais como, *Winter Simulation Conference* (WSC), *Summer Simulation Multi-Conference* (SummerSim) e *Spring Simulation Multi-Conference* (SpringSim). Outras fontes de consultas foram os manuais, os livros didáticos e as opiniões de 3 especialistas de simulação. O *Simulation Software Survey* (ORMS TODAY, 2015) também foi muito útil, assim como o site dos fornecedores.

Conforme o capítulo 6, os softwares de simulação, existentes no mercado, a serem considerados neste trabalho serão: Arena, Promodel e o Flexim. Entretanto, como o objetivo deste trabalho é apresentar uma estrutura de avaliação e seleção de softwares de simulação, eles serão tratados por S1, S2, e S3. Dessa forma, será

mantida a confidencialidade das informações em relação aos softwares, não relacionando a eles nenhuma classificação ou ponderação, já que não faz parte desse trabalho avaliar se este ou aquele software é melhor ou pior em relação a uma determinada característica. Além disso, deve ser levado em consideração que os softwares estão sempre em constante evolução e atualização.

Sendo assim, a tabela 17 apresenta as ponderações dos critérios adotados nessa estrutura de avaliação frente aos softwares S1, S2 e S3, utilizando a escala de intensidade de Saaty (1980).

Tabela 17: Ponderação dos critérios frente aos softwares S1, S2, e S3.

Grupo de critérios	Críticos	S1	S2	S3
Requisitos técnicos gerais	Portabilidade	1	1	1
	Compatibilidade	1	1	1
	Versão em rede	3	1	3
	Dispositivos de segurança	1	1	1
Entrada e saída de dados	Importar e exportar dados	1	5	3
	Informações estatísticas dos dados de entrada	3	1	5
	Informações estatísticas dos dados de saída	1	1	1
	Coleta automática	1	1	1
	Entrada batch	1	1	1
	Entrada interativa	1	1	1
	Verificação da consistência	3	1	1
Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento	Interface gráfica	1	1	1
	Biblioteca com símbolos	1	1	5
	Editores para símbolos	3	3	1
	Importar símbolos	1	1	5
	Importar imagens gráfico de fundo	1	1	5
	Editores para imagens gráfico de fundo	3	3	1
	Incorporar/unir modelos	5	1	5
	Assistente para codificação	1	1	3
	Código fonte	9	9	1
	Funções internas	1	3	3
	Editores para funções internas	3	3	1
	Variáveis e atributos	1	1	1
	Biblioteca com objetos programáveis	1	1	1
	Programação de horários	1	1	1
	Regras para o roteamento	1	3	3
Regras para a formação das filas	1	1	1	
Variáveis específicas para custos	1	3	3	
Nível de aprendizagem	1	1	5	

Tabela 17 (continuação): Ponderação dos critérios frente aos softwares S1, S2 e S3.

Grupo de critérios	Critérios	S1	S2	S3
Requisitos técnicos específicos: Execução	Configurar parâmetros	1	1	3
	Interação do usuário	1	3	5
	Visualizar uma animação	3	3	1
	Ativar ou desativar a animação	1	1	1
	Visualizar os valores instantâneos das variáveis	1	1	1
	Animação em 3D	9	5	1
	Otimização	3	1	5
	Programação orientada por fluxograma	1	9	9
	Programação orientada por objeto	7	1	1
	Nível de customização	7	5	1
	Nível de programação	1	3	7
	Qualidade visual	3	3	1
	Opções de experimentação	3	3	1
Avaliação da eficiência	Localização e correção de erros	1	1	3
	Validação do modelo	1	1	1
	Consistência da lógica	5	5	3
Suporte técnico	Manual	1	3	5
	Tutorial	1	1	1
	Suporte <i>on line</i>	3	3	1
	Versão demo	1	5	3
	Treinamento especializado	1	1	3
	Atualizações	1	1	1
Custos	Aquisição	1	1	3
	Instalação	1	1	1
	Treinamento	5	1	3
	Customização	1	1	1
	Suporte técnico	1	1	1

A aplicação do método AHP será feita supondo consistência na avaliação, conforme capítulo 7.1. Dessa forma, será considerada somente uma linha da matriz, ou seja, aquela que representa o elemento de maior prioridade. Assim, o vetor de prioridades é calculado de forma direta, através da equação 9, não sendo necessário preencher toda a matriz.

Para verificar e validar o modelo proposto foi adotada a estratégia de estudo de caso. Autores como Davis e William (1994), Hlupic *et al.* (1999), Tewoldeberhan *et al.* (2002) e Rincon *et al.* (2005) usaram essa estratégia de pesquisa - o estudo de caso - para testarem seus modelos de avaliação de software.

O capítulo seguinte apresenta as aplicações práticas do modelo proposto para avaliação e seleção de software de simulação de eventos discretos voltados para os sistemas produtivos das manufaturas. Serão também apresentadas as análises e considerações dos gestores e participantes deste trabalho.

8

Aplicação do modelo proposto

As aplicações da estrutura de avaliação proposta nesta pesquisa foram realizadas em quatro indústrias, nos segmentos de fabricação de: fios sintéticos, latas de alumínio, papel e andaimes. Por motivos de confidencialidade, não serão mencionados seus nomes. Em cada aplicação, os questionários foram respondidos pelo gestor da unidade, e os resultados foram apresentados e discutidos em grupo, formado pelo gestor, um responsável pelos processos e um responsável da área de sistemas.

8.1

Primeiro caso teste

A primeira aplicação desse modelo para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos foi feita em uma indústria situada no Brasil, tendo como principal setor de atuação o segmento têxtil através da fabricação de fios sintéticos. A empresa possui outra unidade no Brasil e mais três unidades industriais no exterior. A indústria em estudo tem cerca de 80 funcionários. Os questionários foram respondidos pelo gerente de produção responsável, que tem dois anos na função e formação em engenharia.

8.1.1

Primeira etapa

A aplicação do questionário de maturidade do modelo proposto nas seis capacitações apresentou as respostas conforme a tabela 18. Com os dados desta tabela foi possível avaliar o nível de maturidade para cada capacitação (ANMC).

Quanto ao perfil das capacidades, ilustrado pelo gráfico 7, observa-se que para essa análise, a capacidade Organização dos processos obteve o maior valor do ANMC, 71 pontos, seguido pelo Conhecimento sobre simulação, com 70 pontos. Essas capacitações atingiram o nível de maturidade, de acordo com o

modelo apresentado no capítulo 7, qualificado como gerenciado. O menor valor foi para a capacitação Desenvolvimento dos especialistas, com 33 pontos, ficando o seu nível de maturidade classificado como embrionário, região laranja. Isso é devido a EMPRESA não possuir um programa de treinamento relativo aos processos. Além disso, a equipe técnica, em sua grande maioria, possuía menos de 3 anos na função. A capacitação Medição e avaliação ficou com 67 pontos e padronização dos processos com 63 pontos, atingindo assim, o nível de maturidade gerenciado em cada uma. Já Programas de gerenciamento teve o seu ANMC calculado com 56 pontos, ficando classificada com o nível de maturidade estruturado, região amarela.

Tabela 18: Resultados da aplicação do questionário de maturidade – primeiro caso

Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC	Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC
Conhecimento sobre simulação	1	d	7,5	70	Organização dos processos	1	c	5,0	71
	2	d	7,5			2	d	7,5	
	3	c	5,0			3	d	7,5	
	4	e	10,0			4	c	5,0	
	5	c	5,0			5	e	10,0	
Padronização dos processos	1	c	5,0	63	Medição e avaliação	6	d	7,5	67
	2	c	5,0			1	d	7,5	
	3	d	7,5			2	d	7,5	
	4	b	2,5			3	e	10,0	
	5	d	7,5			4	c	5,0	
	6	e	10,0			5	b	2,5	
Desenvolvimento dos especialistas	1	c	5,0	33	Programas de gerenciamento	6	d	7,5	56
	2	c	5,0			1	d	7,5	
	3	c	5,0			2	d	7,5	
	4	b	2,5			3	c	5,0	
	5	a	0,0			4	b	2,5	
	6	b	2,5						

De acordo com o modelo proposto, capítulo 7, com exceção da capacitação Desenvolvimento dos especialistas, todas estão habilitadas para usar a metodologia de simulação computacional. O que é confirmado pelo valor do ANMM, com 60 pontos. Portanto, essa EMPRESA está de acordo com o modelo proposto, na região verde, classificada como Gerenciada e credenciada para a segunda etapa.

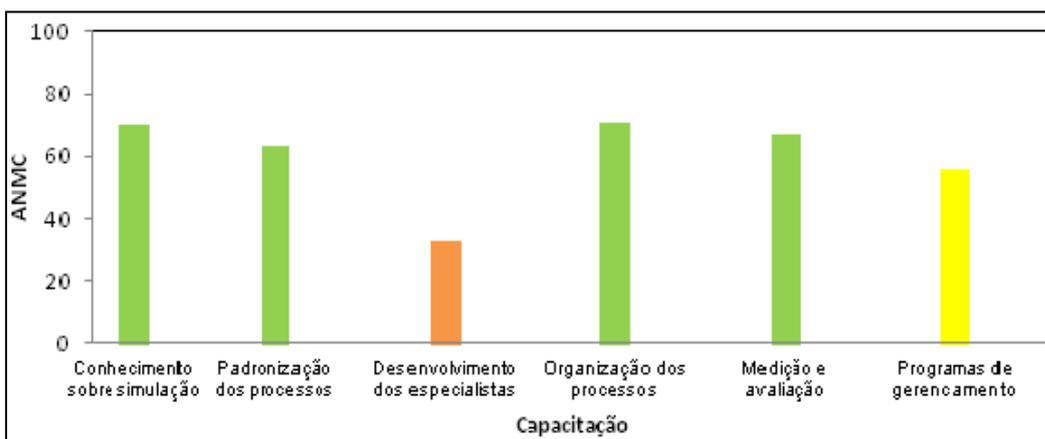


Gráfico 7: Perfil das capacitações aos ANMC's do primeiro caso.

8.1.2

Segunda etapa

A aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação do modelo proposto apresentou as respostas conforme a tabela 19.

O grupo Requisitos técnicos não teve nenhum dos seus critérios considerados totalmente indispensáveis. A Portabilidade entre diferentes plataformas de hardware e a Compatibilidade entre diferentes sistemas operacionais foram considerados critérios parcialmente indispensáveis. Já uma Versão em rede para computadores e Dispositivos de segurança que limitam o uso foram classificados no questionário como critérios neutros. A avaliação do grupo Requisitos Técnicos foi considerada neutra.

Os critérios Informações estatísticas dos dados de entrada, Informações estatísticas dos dados de saída e Verificação da consistência foram considerados totalmente indispensáveis no grupo Entrada e saída de dados. O usuário considerou que os critérios Importar e exportar dados, Coleta automática de outros sistemas, Entrada *batch* e Entrada interativa, não serão necessários para sua aplicação. Além disso, o usuário classificou esse grupo como parcialmente dispensável.

Nos grupos Requisitos técnicos específicos para Desenvolvimento e Execução somente os critérios Importar símbolos, Importar imagens gráfico de fundo, Editores para imagens gráfico de fundo, Incorporar/unir modelos, acesso

ao Código fonte, Interação do usuário, Ativar ou desativar animação, Animação em 3D, Qualidade visual e Opções de experimentação foram avaliados como neutros. Os critérios Otimização, Programação orientada por objetos e Nível de customização foram considerados Totalmente dispensáveis. Já os outros critérios desses grupos foram considerados totalmente indispensáveis, pois o usuário avaliou serem necessários para a elaboração do modelo de simulação, segundo o contexto da sua aplicação. A classificação desses dois grupos foi dada como totalmente indispensável.

Tabela 19: Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação – primeiro caso.

Critério	Questão	Resposta	Critério	Questão	Resposta
Requisitos técnicos gerais	1	b	Requisitos técnicos específicos: Execução	1	a
	2	b		2	c
	3	c		3	a
	4	c		4	c
	5	c		5	a
Entrada e saída de dados	1	e		6	c
	2	a		7	e
	3	a		8	a
	4	e		9	e
	5	e		10	e
	6	e		11	a
	7	a		12	c
	8	d		13	c
Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento				14	a
	1	a	Avaliação da eficiência e teste	1	a
	2	a		2	a
	3	a		3	a
	4	c		4	a
	5	c	Suporte técnico	1	b
	6	c		2	a
	7	c		3	b
	8	a		4	a
	9	c		5	a
	10	a		6	b
	11	a		7	b
	12	a	Custos	1	c
	13	a		2	c
	14	a		3	c
	15	a		4	c
	16	a		5	c
	17	a		6	c
	18	a			
19	a				

Em relação ao grupo Avaliação da eficiência todos os critérios foram avaliados como totalmente indispensáveis, assim como também o próprio grupo. O usuário julgou serem essenciais os assistentes para: a Localização de erros, pois dessa forma, é possível fazer o rastreamento da execução do modelo e verificar como ele foi processado, a Validação do modelo já que possibilita a identificação de erros como sintaxe e inconsistência nos valores ou parâmetros e a Consistência da lógica identificando os erros e sugerindo soluções.

Para o grupo Suporte técnico o usuário considerou serem totalmente indispensáveis os critérios Tutorial, Versão demo e Treinamento especializado, enquanto que os critérios Manual, suporte *on line* e Atualizações foram julgados como parcialmente indispensáveis. Em relação a esse grupo o usuário classificou como parcialmente indispensável.

Os critérios relativos ao grupo de Custos, assim como também o grupo foram classificados como neutros já que no momento da aplicação dos questionários o gerente dessa Empresa não quis dar ênfase a esses critérios.

A primeira avaliação a ser feita é entre os grupos de critérios em relação ao objetivo geral. Em seguida deve ser feita a análise entre os critérios em relação aos grupos de critérios. A atribuição dos pesos entre os grupos de critérios e entre os critérios segue a escala de intensidade de Saaty (1980), conforme está apresentada na tabela 16.

Por fim a análise entre as alternativas dos softwares em relação a cada critério, conforme já apresentada no capítulo 7, na tabela 17.

Trata-se agora de calcular as prioridades de cada software frente a cada critério, de cada critério comparado entre eles e de cada grupo de critérios. Em seguida sintetizar a avaliação com uma comparação em todos os critérios.

Faz-se em detalhe o cálculo das prioridades para os grupos de critérios, utilizando a equação 9. As melhores alternativas são Avaliação da eficiência e teste, Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento e Requisitos técnicos específicos: Execução.

$$\text{Pr}_{\text{Avaliação da eficiência e teste}} = (1/\mathbf{I}_{\text{Avaliação da eficiência e teste}}) * 1/(\sum_n 1/\mathbf{I}_{In})$$

$$\text{Pr}_{\text{Avaliação da eficiência e teste}} = 1 * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Avaliação da eficiência e teste}} = 0,258$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento}} = 1 * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento}} = 0,258$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos específicos: Execução}} = 1 * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos específicos: Execução}} = 0,258$$

$$\text{Pr}_{\text{Suporte técnico}} = (1/3) * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Suporte técnico}} = 0,086$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos gerais}} = (1/5) * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Requisitos técnicos gerais}} = 0,052$$

$$\text{Pr}_{\text{Custos}} = 0,052$$

$$\text{Pr}_{\text{Entrada e saída de dados}} = (1/7) * 1/ (1 + 1 + 1 + 1/3 + 1/5 + 1/5 + 1/7)$$

$$\text{Pr}_{\text{Entrada e saída de dados}} = 0,037$$

A tabela 20 apresenta os resultados de todas as prioridades calculadas de cada alternativa frente a cada critério e de cada critério comparado entre eles.

A prioridade total para cada software é obtida multiplicando o valor da prioridade do software em cada critério pela prioridade de cada critério e somando para todos os critérios, conforme equação 10.

Para facilitar o entendimento, as alternativas, os critérios, os grupos de critérios e as prioridades serão representados da seguinte forma:

S_i = Alternativas

C_j = Critérios

G_k = Grupos de critérios

$\text{Pr}C_jS_i$ = Prioridade de cada critério frente a uma alternativa

$\text{Pr}C_jG_k$ = Prioridade de cada critério dentro de um grupo de critérios

PrG_k = Prioridade de cada grupo de critérios frente ao objetivo

PrPS_iG_k = Prioridade parcial de uma alternativa dentro de um grupo de critérios

PrSi = Prioridade das alternativas

Em seguida calcula-se o vetor de prioridades parciais de cada alternativa dentro de um grupo de critérios. Para isso, multiplica-se o vetor transposto das prioridades de cada critério j dentro de um grupo de critérios k com a matriz formada com as prioridades de cada critério j frente a uma alternativa i , conforme a equação 12.

$$[\text{PrC1G}_k \quad \dots \quad \text{PrC}_j\text{G}_k] \times \begin{bmatrix} \text{PrC1S1} & \dots & \text{PrC1S}_i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{PrC}_j\text{S1} & \dots & \text{PrC}_j\text{S}_i \end{bmatrix} = [\text{PrPS1G}_k \quad \dots \quad \text{PrPS}_i\text{G}_k] \quad \text{Equação 12}$$

Faz-se em detalhe o cálculo do vetor de prioridades parciais de cada alternativa dentro do grupo de critérios requisitos técnicos gerais, conforme equação 13. Sendo Port – Portabilidade, Comp – Compatibilidade, V R – Versão em rede e D S – Dispositivos de segurança. Esse cálculo é feito para cada grupo de critérios.

Port	Comp	V R	D S	S1	S2	S3	PrPS ₁ G1	PrPS ₂ G1	PrPS ₃ G1
------	------	-----	-----	----	----	----	----------------------	----------------------	----------------------

$$[0,313 \quad 0,313 \quad 0,188 \quad 0,188] \times \begin{bmatrix} 0,333 & 0,333 & 0,333 \\ 0,333 & 0,333 & 0,333 \\ 0,200 & 0,600 & 0,200 \\ 0,333 & 0,333 & 0,333 \end{bmatrix} = [0,308 \quad 0,383 \quad 0,308]$$

Para obter o vetor das prioridades de cada alternativa deve-se multiplicar o vetor transposto das prioridades de cada grupo de critérios frente ao objetivo com a matriz formada com as prioridades parciais de cada alternativa dentro de um grupo de critérios, conforme equação 13.

$$[\text{PrG}_1 \quad \dots \quad \text{PrG}_k] \times \begin{bmatrix} \text{PrPS}_1\text{G}_1 & \dots & \text{PrPS}_i\text{G}_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{PrPS}_1\text{G}_k & \dots & \text{PrPS}_i\text{G}_k \end{bmatrix} = [\text{PrS}_1 \quad \dots \quad \text{PrS}_k] \quad \text{Equação 13}$$

Faz-se em detalhe o cálculo para o vetor das prioridades de cada alternativa, conforme a equação 13. Sendo G1 – grupo de critério requisitos técnicos gerais, G2 – grupo de critério Entrada e saída de dados, G3 - Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento, G4 - Requisitos técnicos específicos: Execução, G5 - Avaliação da eficiência e teste, G6 - Suporte técnico e G7 – Custos.

PrG1	PrG2	PrG3	PrG4	PrG5	PrG6	PrG7
------	------	------	------	------	------	------

PrPS ₁ G _k	PrPS ₂ G _k	PrPS ₃ G _k
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

PrS1	PrS2	PrS3
------	------	------

$$[0,052 \quad 0,037 \quad 0,258 \quad 0,258 \quad 0,258 \quad 0,086 \quad 0,052] \times \begin{bmatrix} 0,308 & 0,383 & 0,308 \\ 0,255 & 0,447 & 0,298 \\ 0,255 & 0,447 & 0,298 \\ 0,441 & 0,259 & 0,300 \\ 0,345 & 0,345 & 0,310 \\ 0,452 & 0,286 & 0,262 \\ 0,312 & 0,416 & 0,272 \end{bmatrix} = [0,384 \quad 0,319 \quad 0,297]$$

Tabela 20: Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – primeiro caso.

Crítérios	S1	S2	S3	Pr crítérios	Pr Grupo de critérios
Portabilidade	0,333	0,333	0,333	0,313	0,052
Compatibilidade	0,333	0,333	0,333	0,313	
Versão em rede	0,200	0,600	0,200	0,188	
Dispositivos de segurança	0,333	0,333	0,333	0,188	
PrPS,G1	0,308	0,383	0,308		
Importar e exportar dados	0,652	0,130	0,217	0,032	0,037
Informações estatísticas dos dados de entrada	0,217	0,652	0,130	0,290	
Informações estatísticas dos dados de saída	0,333	0,333	0,333	0,290	
Coleta automática	0,333	0,333	0,333	0,032	
Entrada batch	0,333	0,333	0,333	0,032	
Entrada interativa	0,333	0,333	0,333	0,032	
Verificação da consistência	0,143	0,429	0,429	0,290	
PrPS,G2	0,255	0,447	0,298		
Interface gráfica	0,333	0,333	0,333	0,071	
Biblioteca com símbolos	0,455	0,455	0,091	0,071	
Editores para símbolos	0,200	0,200	0,600	0,071	
Importar símbolos	0,455	0,455	0,091	0,014	
Importar imagens gráfico de fundo	0,455	0,455	0,091	0,014	
Editores para imagens gráfico de fundo	0,200	0,200	0,600	0,014	
Incorporar/unir modelos	0,143	0,714	0,143	0,014	
Assistente para codificação	0,429	0,429	0,143	0,071	
Código fonte	0,091	0,091	0,818	0,014	
Funções internas	0,600	0,200	0,200	0,071	
Editores para funções internas	0,200	0,200	0,600	0,071	
Variáveis e atributos	0,333	0,333	0,333	0,071	
Biblioteca com objetos programáveis	0,333	0,333	0,333	0,071	
Programação de horários	0,333	0,333	0,333	0,071	
Regras para o roteamento	0,600	0,200	0,200	0,071	
Regras para a formação das filas	0,333	0,333	0,333	0,071	
Variáveis específicas para custos	0,600	0,200	0,200	0,071	
Nível de aprendizagem	0,455	0,455	0,091	0,071	
PrPS,G3	0,255	0,447	0,298		

Tabela 20 (continuação): Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – primeiro caso.

Critérios	S1	S2	S3	Pr critérios	Pr Grupo de critérios
Configurar parâmetros	0,429	0,429	0,143	0,158	0,258
Interação do usuário	0,652	0,217	0,130	0,032	
Visualizar uma animação	0,200	0,200	0,600	0,158	
Ativar ou desativar a animação	0,333	0,333	0,333	0,032	
Visualizar os valores instantâneos das variáveis	0,333	0,333	0,333	0,158	
Animação em 3D	0,085	0,153	0,763	0,032	
Otimização	0,217	0,652	0,130	0,018	
Programação orientada por fluxograma	0,818	0,091	0,091	0,158	
Programação orientada por objeto	0,067	0,467	0,467	0,018	
Nível de customização	0,106	0,149	0,745	0,018	
Nível de programação	0,677	0,226	0,097	0,158	
Qualidade visual	0,200	0,200	0,600	0,032	
Opções de experimentação	0,200	0,200	0,600	0,032	
PrPS,G4	0,441	0,259	0,300		0,258
Localização e correção de erros	0,429	0,429	0,143	0,333	
Validação do modelo	0,333	0,333	0,333	0,333	
Consistência da lógica	0,273	0,273	0,455	0,333	
PrPS,G5	0,345	0,345	0,310		0,086
Manual	0,652	0,217	0,130	0,083	
Tutorial	0,333	0,333	0,333	0,250	
Suporte <i>on line</i>	0,200	0,200	0,600	0,083	
Versão demo	0,652	0,130	0,217	0,250	
Treinamento especializado	0,429	0,429	0,143	0,250	
Atualizações	0,333	0,333	0,333	0,083	
PrPS,G6	0,452	0,286	0,262		
Aquisição	0,429	0,429	0,143	0,429	
Instalação	0,333	0,333	0,333	0,333	
Treinamento	0,130	0,652	0,217	0,130	
Customização	0,333	0,333	0,333	0,333	
Suporte técnico	0,333	0,333	0,333	0,333	
PrPS,G7	0,312	0,416	0,272		
PrS_i	0,384	0,319	0,297		

A melhor alternativa ficou sendo o software S1 que apresentou a melhor avaliação com uma prioridade total de 0,384, seguido do S2 com 0,319 e do S3 com 0,297.

O software S1 foi superior na avaliação em relação ao software S2 em 20,4% e em relação ao software S3 em 29,3%. Dessa forma, o software S1 foi indicado para desenvolver os modelos de simulação para essa EMPRESA, o que foi confirmado pela percepção do grupo avaliador que demonstrou um maior interesse pela interação dos processos, facilidade de programação e uma menor importância para as animações em 3D, qualidade visual e otimização.

8.2

Segundo caso teste

A segunda aplicação desse modelo para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos foi feita em uma indústria situada no Brasil, tendo como principal setor de atuação o segmento de bebidas através da fabricação de latas e tampas de alumínio para cervejas, refrigerantes, sucos e chás. Possuem cinco unidades no Brasil e mais de cinquenta unidades industriais no exterior. A indústria em estudo possui mais de quinhentos funcionários e os questionários foram respondidos pelo Diretor de Engenharia Projetos e Processo, que tem dezessete anos na função e possui formação em engenharia mecânica.

8.2.1

Primeira etapa

O questionário de maturidade do modelo proposto foi aplicado e apresentou as respostas conforme a tabela 21.

Quanto ao perfil das capacidades, ilustrado pelo gráfico 8, observa-se que para essa análise, a capacitação Padronização dos processos e Medição e avaliação obtiveram os maiores valores do ANMC, 96 pontos cada, seguido pelo Desenvolvimento dos especialistas, com 92 pontos. Estas capacitações alcançaram o mais alto nível de maturidade do modelo em estudo, região verde classificado como otimizado. O menor nível de maturidade foi medido para a capacitação Conhecimento sobre simulação, com 35 pontos. Essa capacitação foi classificada na região laranja, como embrionário. Embora o grupo técnico tenha demonstrado conhecimento sobre modelagem de processos, verificação e validação e um

razoável conhecimento sobre processos estocásticos, o grupo evidenciou não conhecer a metodologia de simulação computacional. A capacitação Desenvolvimento dos especialistas ficou com 90 pontos, Organização dos processos com 88 pontos, portanto, o nível de maturidade para essas capacitações foi classificado como otimizado. A capacitação Programas de gerenciamento com 75 pontos teve o seu nível de maturidade classificado como gerenciado.

Tabela 21: Resultados da aplicação do questionário de maturidade – segundo caso

Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC	Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC
Conhecimento sobre simulação	1	d	7,5	35	Organização dos processos	1	c	5,0	88
	2	d	7,5			2	e	10,0	
	3	b	2,5			3	e	10,0	
	4	a	0			4	e	10,0	
	5	a	0			5	d	7,5	
6	e	10,0	6	e		10,0			
Padronização dos processos	1	e	10,0	96	Medição e avaliação	1	e	10,0	96
	2	e	10,0			2	e	10,0	
	3	e	10,0			3	e	10,0	
	4	e	10,0			4	e	10,0	
	5	e	10,0			5	e	10,0	
	6	d	7,5			6	d	7,5	
Desenvolvimento dos especialistas	1	e	10,0	92	Programas de gerenciamento	1	e	10	75
	2	d	7,5			2	c	5	
	3	d	7,5			3	d	7,5	
	4	e	10,0			4	d	7,5	
	5	e	10,0						
	6	e	10,0						

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1012735/CA

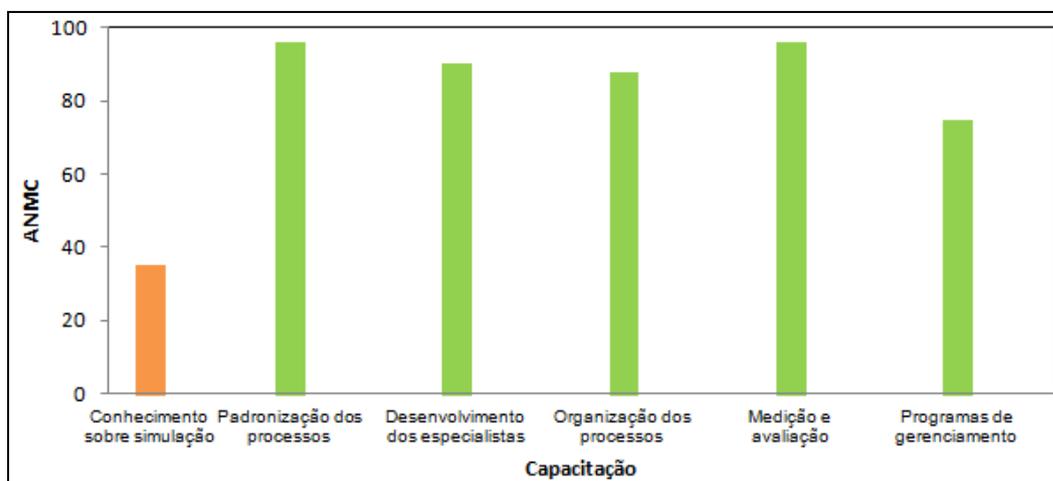


Gráfico 8: Perfil das capacitações aos ANMC's do segundo caso.

De acordo com o modelo proposto, capítulo 7, com exceção da capacitação Conhecimento sobre simulação, todas as demais estão habilitadas para usar a metodologia de simulação computacional. O que é confirmado pelo valor do ANMM, com 80 pontos. Portanto, essa EMPRESA alcançou o nível de maturidade classificado como Otimizado e está credenciada para a segunda etapa.

8.2.2

Segunda etapa

O questionário para avaliação e seleção do software de simulação do modelo proposto foi aplicado e apresentou as respostas conforme a tabela 22.

Tabela 22: Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação – segundo caso.

Critério	Questão	Resposta	Critério	Questão	Resposta
Requisitos técnicos gerais	1	c	Requisitos técnicos específicos: Execução	1	b
	2	c		2	b
	3	c		3	a
	4	c		4	b
	5	c		5	a
Entrada e saída de dados	1	a		6	a
	2	a		7	e
	3	a		8	e
	4	b		9	a
	5	a		10	a
	6	a		11	e
	7	a		12	a
	8	b		13	a
Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento				14	a
	1	a	Avaliação da eficiência e teste	1	a
	2	b		2	a
	3	a		3	a
	4	b		4	a
	5	c	Suporte técnico	1	c
	6	a		2	a
	7	d		3	a
	8	a		4	b
	9	a		5	a
	10	c		6	a
	11	b		7	b
	12	a	Custos	1	a
	13	a		2	a
	14	a		3	a
	15	a		4	a
	16	a		5	a
	17	a		6	b
	18	d			
19	a				

O grupo Requisitos técnicos não teve nenhum dos seus critérios considerados totalmente indispensáveis. A Portabilidade entre diferentes plataformas de hardware, a Compatibilidade entre diferentes sistemas operacionais, Versão em rede para computadores e Dispositivos de segurança que

limitam o uso foram classificados no questionário como critérios neutros. A avaliação do grupo Requisitos Técnicos também foi considerada neutra.

Os critérios Importar e exportar dados, Informações estatísticas dos dados de entrada, Informações estatísticas dos dados de saída, Entrada *batch*, Entrada interativa e Verificação da consistência foram considerados totalmente indispensáveis no grupo Entrada e saída de dados. O usuário considerou que o critério Coleta automática como parcialmente indispensável. Além disso, o usuário classificou esse grupo como parcialmente indispensável.

No grupo Requisitos técnicos específicos para Desenvolvimento os critérios Biblioteca com símbolos, Importar símbolos e Editores para funções internas foram avaliados como parcialmente indispensáveis. Já os critérios Funções internas e Importar imagens gráfico de fundo foram julgados pelo usuário como neutros. Os critérios Incorporar/unir modelos e Nível de aprendizagem foram considerados parcialmente dispensáveis. Os outros critérios desse grupo foram avaliados como totalmente indispensáveis, sendo que o usuário deu ênfase para acesso ao código fonte, segundo o contexto da sua aplicação. A classificação do grupo Requisitos técnicos específicos para Desenvolvimento foi dada como totalmente indispensável.

O usuário classificou o grupo Requisitos técnicos específicos: Execução como totalmente indispensável. Os critérios Otimização, Programação orientada por fluxograma e Nível de programação foram classificados pelo usuário como Totalmente dispensáveis. Os critérios Configurar parâmetros, Interação do usuário e Ativar ou desativar a animação foram considerados parcialmente indispensáveis, enquanto que os outros critérios desse grupo foram considerados totalmente indispensáveis. O usuário demonstrou ser de grande valia os critérios de Animação em 3D e Nível de customização para a execução do modelo de simulação.

Em relação ao grupo Avaliação da eficiência todos os critérios foram avaliados como totalmente indispensáveis, assim como também o próprio grupo. O usuário julgou serem fundamentais para o desenvolvimento e execução do modelo os assistentes para Localização de erros, Validação do modelo e Consistência da lógica.

Para o grupo Suporte técnico o usuário considerou serem totalmente indispensáveis os critérios Tutorial, Suporte *on line*, Treinamento especializado e Atualizações, enquanto que os critérios Manual e Versão demo foram julgados como neutros. Em relação a esse grupo, o usuário classificou-o como parcialmente indispensável.

Os critérios relativos ao grupo de Custos foram julgados como totalmente indispensáveis, porém, o grupo foi classificado como parcialmente indispensável. O usuário demonstrou uma maior preocupação com o lado técnico

A tabela 23 apresenta os resultados de todas as prioridades calculadas, conforme equação 9, de cada alternativa frente a cada critério e de cada critério comparado aos demais.

A prioridade total para cada software é obtida multiplicando o valor da prioridade do software em cada critério pela prioridade de cada critério e somando para todos os critérios, conforme equações 10, 12 e 13.

Tabela 23: Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – segundo caso.

Critérios	S1	S2	S3	Pr critérios	Pr Grupo de critérios
Portabilidade	0,333	0,333	0,333	0,250	0,048
Compatibilidade	0,333	0,333	0,333	0,250	
Versão em rede	0,200	0,600	0,200	0,250	
Dispositivos de segurança	0,333	0,333	0,333	0,250	
PrPS,G1	0,300	0,400	0,300		
Importar e exportar dados	0,652	0,130	0,217	0,158	0,079
Informações estatísticas dos dados de entrada	0,217	0,652	0,130	0,158	
Informações estatísticas dos dados de saída	0,333	0,333	0,333	0,158	
Coleta automática	0,333	0,333	0,333	0,053	
Entrada batch	0,333	0,333	0,333	0,158	
Entrada interativa	0,333	0,333	0,333	0,158	
Verificação da consistência	0,143	0,429	0,429	0,158	
PrPS,G2	0,335	0,367	0,298		
Interface gráfica	0,333	0,333	0,333	0,079	
Biblioteca com símbolos	0,455	0,455	0,091	0,026	
Editores para símbolos	0,200	0,200	0,600	0,079	
Importar símbolos	0,455	0,455	0,091	0,026	
Importar imagens gráfico de fundo	0,455	0,455	0,091	0,016	
Editores para imagens gráfico de fundo	0,200	0,200	0,600	0,079	
Incorporar/unir modelos	0,143	0,714	0,143	0,011	
Assistente para codificação	0,429	0,429	0,143	0,079	
Código fonte	0,091	0,091	0,818	0,079	
Funções internas	0,600	0,200	0,200	0,016	
Editores para funções internas	0,200	0,200	0,600	0,026	
Variáveis e atributos	0,333	0,333	0,333	0,079	
Biblioteca com objetos programáveis	0,333	0,333	0,333	0,079	
Programação de horários	0,333	0,333	0,333	0,079	
Regras para o roteamento	0,600	0,200	0,200	0,079	
Regras para a formação das filas	0,333	0,333	0,333	0,079	
Variáveis específicas para custos	0,600	0,200	0,200	0,079	
Nível de aprendizagem	0,455	0,455	0,091	0,011	
PrPS,G3	0,351	0,288	0,361		

Tabela 23 (continuação): Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – segundo caso.

Crítérios	S1	S2	S3	Pr critérios	Pr Grupo de critérios
Configurar parâmetros	0,429	0,429	0,143	0,040	0,238
Interação do usuário	0,652	0,217	0,130	0,040	
Visualizar uma animação	0,200	0,200	0,600	0,120	
Ativar ou desativar a animação	0,333	0,333	0,333	0,040	
Visualizar os valores instantâneos das variáveis	0,333	0,333	0,333	0,120	
Animação em 3D	0,085	0,153	0,763	0,120	
Otimização	0,217	0,652	0,130	0,013	
Programação orientada por fluxograma	0,818	0,091	0,091	0,013	
Programação orientada por objeto	0,067	0,467	0,467	0,120	
Nível de customização	0,106	0,149	0,745	0,120	
Nível de programação	0,677	0,226	0,097	0,013	
Qualidade visual	0,200	0,200	0,600	0,120	
Opções de experimentação	0,200	0,200	0,600	0,120	
PrPS,G4	0,222	0,256	0,521		0,238
Localização e correção de erros	0,429	0,429	0,143	0,333	
Validação do modelo	0,333	0,333	0,333	0,333	
Consistência da lógica	0,273	0,273	0,455	0,333	
PrPS,G5	0,345	0,345	0,310		0,079
Manual	0,652	0,217	0,130	0,044	
Tutorial	0,333	0,333	0,333	0,221	
Suporte <i>on line</i>	0,200	0,200	0,600	0,221	
Versão demo	0,652	0,130	0,217	0,074	
Treinamento especializado	0,429	0,429	0,143	0,221	
Atualizações	0,333	0,333	0,333	0,221	
PrPS,G6	0,362	0,305	0,333		
Aquisição	0,429	0,429	0,143	0,200	0,079
Instalação	0,333	0,333	0,333	0,200	
Treinamento	0,130	0,652	0,217	0,200	
Customização	0,333	0,333	0,333	0,200	
Suporte técnico	0,333	0,333	0,333	0,200	
PrPS,G7	0,312	0,416	0,272		
PrS_i	0,313	0,317	0,370		

A melhor alternativa ficou sendo o software S3 que apresentou a melhor avaliação com uma prioridade total de 0,370, seguido do S2 com 0,317 e do S1 com 0,313.

O software S3 apresentou uma superioridade na análise em relação ao software S2 em 16,7% e em relação ao software S1 em 18,2%. Assim, o software S3 foi o indicado para desenvolver os modelos de simulação para essa EMPRESA, o que foi confirmado pela percepção do grupo avaliador que demonstrou uma ênfase pelo código fonte aberto, animação em 3D, programação orientada por objeto, qualidade visual, opções de experimentação e customização.

8.3

Terceiro caso teste

A terceira aplicação desse modelo para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos foi feita em outra indústria situada no Brasil e que tem como principal setor de atuação o segmento de papel e celulose por meio da fabricação de papeis especiais. A empresa possui uma unidade no Brasil e oito unidades industriais no exterior. A indústria em estudo tem cerca de 200 funcionários e os questionários foram respondidos pelo Gestor de Logística e Administração de Vendas, que tem dezesseis anos na função e possui formação em engenharia química.

8.3.1

Primeira etapa

A aplicação do questionário de maturidade do modelo proposto nas seis capacitações apresentou as respostas conforme a tabela 24. Com os dados desta tabela foi possível avaliar o nível de maturidade para cada capacitação (ANMC).

Quanto ao perfil das capacidades, ilustrado pelo gráfico 9, observa-se que, para essa análise, a capacitação Padronização dos processos e Medição e avaliação obtiveram os maiores valores do ANMC, 96 e 83 pontos respectivamente cada, logo, de acordo com o modelo em estudo, os níveis de maturidade para essas capacitações foram qualificados como otimizados. Em seguida as capacitações Organização dos processos e Desenvolvimento dos especialistas tiveram os seus ANMC calculados com 75 e 67 pontos respectivamente, alcançando cada capacitação o nível de maturidade gerenciado.

O menor valor foi para a capacitação Conhecimento sobre simulação, com 35 pontos, ficando com a classificação do nível de maturidade embrionário. De um modo geral, o grupo técnico demonstrou possuir pouco conhecimento sobre a metodologia de simulação computacional. Na capacitação Programas de gerenciamento o grupo sinalizou que ainda precisa melhorar em relação aos programas de treinamento obtendo 56 pontos e sendo o seu nível de maturidade qualificado como estruturado.

Tabela 24: Resultados da aplicação do questionário de maturidade – terceiro caso.

Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC	Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC
Conhecimento sobre simulação	1	c	5,0	35	Organização dos processos	1	d	7,5	75
	2	c	5,0			2	d	7,5	
	3	b	2,5			3	d	7,5	
	4	b	2,5			4	c	5,0	
	5	b	2,5			5	e	10,0	
6	d	7,5	96	Medição e avaliação		1	d	7,5	
Padronização dos processos	2	e			10,0	2	e	10	
	3	e			10,0	3	e	10	
	4	e			10,0	4	d	7,5	
	5	e			10,0	5	d	7,5	
	6	d			7,5	6	d	7,5	
Desenvolvimento dos especialistas	1	d	7,5	67	Programas de gerenciamento	1	d	7,5	56
	2	c	5,0			2	b	2,5	
	3	d	7,5			3	c	5,0	
	4	d	7,5			4	d	7,5	
	5	c	5,0						
	6	e	7,5						

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1012735/CA

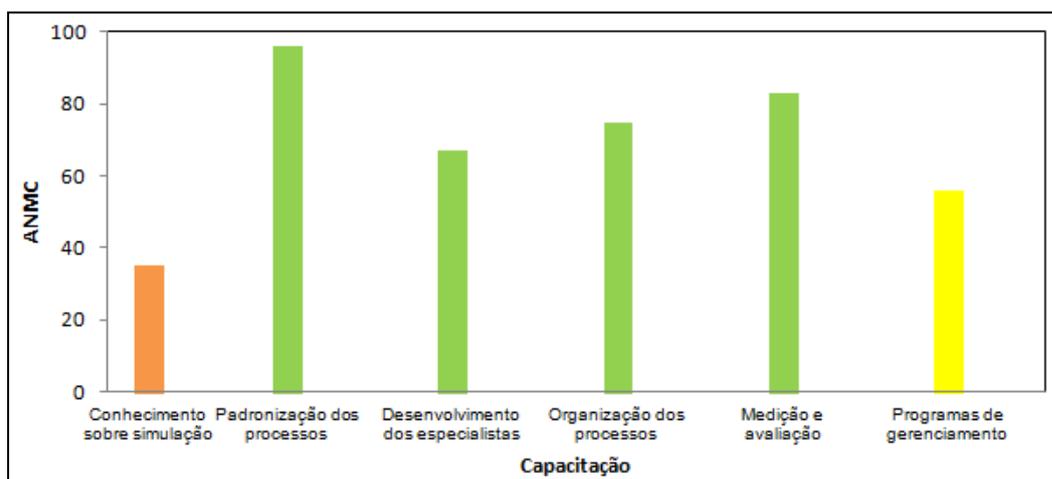


Gráfico 9: Perfil das capacitações aos ANMC's do terceiro caso.

De acordo com o modelo proposto, capítulo 7, com exceção da capacitação Conhecimento sobre simulação, todas estão habilitadas para usar a metodologia de simulação computacional. O que é confirmado pelo valor do ANMM, com 69 pontos. Portanto, essa EMPRESA esta classificada como Gerenciada e credenciada para a segunda etapa.

8.3.2

Segunda etapa

A aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação do modelo proposto apresentou as respostas conforme a tabela 25.

No grupo Requisitos técnicos o critério Versão em rede foi classificado no questionário como totalmente indispensável. Já o critério Compatibilidade entre diferentes sistemas operacionais foi avaliado pelo usuário como neutro. Os outros critérios como Portabilidade entre diferentes plataformas de hardware e Dispositivos de segurança que limitam o uso foram analisados como totalmente dispensáveis. A avaliação do grupo Requisitos Técnicos também foi considerada totalmente dispensável.

Os critérios Informações estatísticas dos dados de entrada, Informações estatísticas dos dados de saída, Entrada *batch* e Verificação da consistência foram considerados totalmente indispensáveis no grupo Entrada e saída de dados. O usuário considerou que os critérios Importar e exportar dados e Coleta automática como neutros e o critério Entrada interativa como totalmente dispensável. Além disso, o usuário classificou esse grupo como parcialmente indispensável.

No grupo Requisitos técnicos específicos para Desenvolvimento o usuário considerou os critérios Interface gráfica, Biblioteca com símbolos, Importar símbolos, Importar imagens gráficos de fundo, Incorporar/unir modelos, Assistente para codificação, Variáveis e atributos e Nível de aprendizagem como totalmente indispensáveis. Já os critérios Funções internas, Biblioteca com objetos programáveis, Programação de horário, Regras para o roteamento, Regras para a formação das filas e Variáveis específicas para custos foram classificadas como parcialmente indispensáveis. O critério Editores para imagens gráfico de fundo foi classificado como neutro. Os critérios Editores para símbolo, e Editores para

funções internas foram avaliados como parcialmente dispensáveis. Somente o critério Código fonte foi classificado como totalmente dispensável. A classificação do grupo Requisitos técnicos específicos para Desenvolvimento foi dada como totalmente indispensável.

Tabela 25: Resultado da aplicação do questionário para avaliação e seleção do software de simulação – terceiro caso.

Critério	Questão	Resposta	Critério	Questão	Resposta
Requisitos técnicos gerais	1	e	Requisitos técnicos específicos: Execução	1	a
	2	c		2	b
	3	a		3	a
	4	e		4	d
	5	e		5	d
Entrada e saída de dados	1	c		6	e
	2	a		7	a
	3	a		8	e
	4	c		9	a
	5	a		10	c
	6	e		11	b
	7	a		12	b
	8	b		13	b
Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento				14	a
	1	a	Avaliação da eficiência e teste	1	a
	2	a		2	a
	3	d		3	a
	4	a		4	a
	5	a	Suporte técnico	1	a
	6	c		2	b
	7	a		3	b
	8	a		4	d
	9	e		5	a
	10	b		6	b
	11	d		7	b
	12	a	Custos	1	a
	13	b		2	a
	14	b		3	a
	15	b		4	a
	16	b		5	b
	17	b		6	b
	18	a			
19	a				

O usuário classificou o grupo Requisitos técnicos específicos: Execução como totalmente indispensável. O usuário considerou nesse grupo os critérios Configurar parâmetro, Visualizar uma animação, Otimização e programação orientada por objeto como totalmente indispensável. Os critérios Interação do usuário, Nível de programação, Qualidade visual e Opções de experimentação foram classificados como parcialmente indispensáveis. Somente o critério Editores para imagens gráficos de fundo foi classificado como neutro. Ativar ou desativar a animação e Visualizar os valores instantâneos das variáveis foram considerados parcialmente dispensáveis, enquanto os critérios Animação em 3D e programação por fluxograma foram considerados totalmente dispensáveis.

Em relação ao grupo Avaliação da eficiência todos os critérios foram avaliados como totalmente indispensáveis, assim como também o próprio grupo. O usuário julgou serem fundamentais para o desenvolvimento e execução do modelo os assistentes para Localização de erros, Validação do modelo e Consistência da lógica.

Para o grupo Suporte técnico o usuário considerou serem totalmente indispensáveis os critérios Manual e Treinamento especializado. Os critérios Tutorial, Suporte *on line* e Atualizações foram julgados como parcialmente indispensáveis. Somente o critério Versão demo foi considerado parcialmente dispensável. Em relação a esse grupo, o usuário classificou-o como parcialmente indispensável.

O grupo Custos foi julgado pelo usuário como parcialmente indispensável, assim como o critério suporte técnico. Os demais critérios como Aquisição, Instalação, Treinamento e Customização foram julgados como totalmente indispensáveis.

A tabela 26 apresenta os resultados de todas as prioridades calculadas, conforme as equações 9, 10, 12, e 13.

Tabela 26: Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – terceiro caso.

Critérios	S1	S2	S3	Pr critérios	Pr Grupo de critérios	
Portabilidade	0,333	0,333	0,333	0,078	0,027	
Compatibilidade	0,333	0,333	0,333	0,141		
Versão em rede	0,200	0,600	0,200	0,703		
Dispositivos de segurança	0,333	0,333	0,333	0,078		
PrPS,G1	0,240	0,521	0,240			
Importar e exportar dados	0,652	0,130	0,217	0,044	0,081	
Informações estatísticas dos dados de entrada	0,217	0,652	0,130	0,222		
Informações estatísticas dos dados de saída	0,333	0,333	0,333	0,222		
Coleta automática	0,333	0,333	0,333	0,044		
Entrada batch	0,333	0,333	0,333	0,222		
Entrada interativa	0,333	0,333	0,333	0,025		
Verificação da consistência	0,143	0,429	0,429	0,222		
PrPS,G2	0,280	0,416	0,304			
Interface gráfica	0,333	0,333	0,333	0,094		0,243
Biblioteca com símbolos	0,455	0,455	0,091	0,094		
Editores para símbolos	0,200	0,200	0,600	0,013		
Importar símbolos	0,455	0,455	0,091	0,094		
Importar imagens gráfico de fundo	0,455	0,455	0,091	0,094		
Editores para imagens gráfico de fundo	0,200	0,200	0,600	0,019		
Incorporar/unir modelos	0,143	0,714	0,143	0,094		
Assistente para codificação	0,429	0,429	0,143	0,094		
Código fonte	0,091	0,091	0,818	0,010		
Funções internas	0,600	0,200	0,200	0,031		
Editores para funções internas	0,200	0,200	0,600	0,013		
Variáveis e atributos	0,333	0,333	0,333	0,094		
Biblioteca com objetos programáveis	0,333	0,333	0,333	0,031		
Programação de horários	0,333	0,333	0,333	0,031		
Regras para o roteamento	0,600	0,200	0,200	0,031		
Regras para a formação das filas	0,333	0,333	0,333	0,031		
Variáveis específicas para custos	0,600	0,200	0,200	0,031		
Nível de aprendizagem	0,455	0,455	0,091	0,094		
PrPS,G3	0,387	0,403	0,211			

Tabela 26 (continuação): Prioridades das alternativas frente a cada critério e entre os critérios – terceiro caso.

Cr�terios	S1	S2	S3	Pr crit�rios	Pr Grupo de crit�rios
Configurar par�metros	0,429	0,429	0,143	0,166	0,243
Intera�o do usu�rio	0,652	0,217	0,130	0,055	
Visualizar uma anima�o	0,200	0,200	0,600	0,166	
Ativar ou desativar a anima�o	0,333	0,333	0,333	0,024	
Visualizar os valores instant�neos das vari�veis	0,333	0,333	0,333	0,024	
Anima�o em 3D	0,085	0,153	0,763	0,018	
Otimiza�o	0,217	0,652	0,130	0,166	
Programa�o orientada por fluxograma	0,818	0,091	0,091	0,018	
Programa�o orientada por objeto	0,067	0,467	0,467	0,166	
N�vel de customiza�o	0,106	0,149	0,745	0,033	
N�vel de programa�o	0,677	0,226	0,097	0,055	
Qualidade visual	0,200	0,200	0,600	0,055	
Op�oes de experimenta�o	0,200	0,200	0,600	0,055	
PrPS,G4	0,282	0,361	0,357		
Localiza�o e corre�o de erros	0,429	0,429	0,143	0,333	0,243
Valida�o do modelo	0,333	0,333	0,333	0,333	
Consist�ncia da l�gica	0,273	0,273	0,455	0,333	
PrPS,G5	0,345	0,345	0,310		
Manual	0,652	0,217	0,130	0,318	0,081
Tutorial	0,333	0,333	0,333	0,106	
Suporte <i>on line</i>	0,200	0,200	0,600	0,106	
Vers�o demo	0,652	0,130	0,217	0,045	
Treinamento especializado	0,429	0,429	0,143	0,318	
Atualiza�oes	0,333	0,333	0,333	0,106	
PrPS,G6	0,465	0,303	0,231		
Aquisi�o	0,429	0,429	0,143	0,231	0,081
Instala�o	0,333	0,333	0,333	0,231	
Treinamento	0,130	0,652	0,217	0,231	
Customiza�o	0,333	0,333	0,333	0,231	
Suporte t�cnico	0,333	0,333	0,333	0,077	
PrPS,G7	0,308	0,429	0,263		
PrS_i	0,338	0,377	0,284		

A melhor alternativa ficou sendo o software S2 que apresentou a melhor avalia o com uma prioridade total de 0,377, seguido do S1 com 0,338 e do S3 com 0,284.

O software S2 foi superior em relação ao software S1 em 11,5% e em relação ao software S3 em 32,7%. Dessa forma, o software S2 foi o indicado para desenvolver os modelos de simulação para essa EMPRESA, o que foi confirmado pela percepção do grupo avaliador que demonstrou maior interesse por otimização, programação orientada por objeto e nível de aprendizagem e um menor interesse em animação 3D e código fonte aberto.

8.4

Quarto caso teste

A quarta aplicação desse modelo para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos foi feita em outra indústria situada no Brasil, tendo como principal setor de atuação o segmento de construção civil na produção de andaimes. A EMPRESA possui uma única unidade no Brasil e tem cerca de 20 funcionários. Os questionários foram respondidos pelo gerente da unidade, que tem três anos na função e possui formação em engenharia mecânica.

8.4.1

Primeira etapa

As respostas relativas à aplicação do questionário para avaliar o grau de maturidade estão apresentadas na tabela 27. Com os dados desta tabela foi possível avaliar o nível de maturidade para cada capacitação (ANMC).

Quanto ao perfil das capacitações, ilustrado pelo gráfico 10, observa-se que essa Empresa, de um modo geral, está ainda no início da escalada da maturidade. Não possui nenhuma capacitação na região verde, ou seja, nos níveis de maturidade gerenciado e /ou otimizado. As capacitações Padronização dos processos, Desenvolvimento dos especialistas e Medição e avaliação obtiveram o valor de 42 pontos cada de ANMC, ficando assim classificados no início da região amarela como estruturados. As capacitações Conhecimento sobre simulação, Organização dos processos e Programas de gerenciamento estão muito precárias, praticamente inexistentes. Possuem apenas pontos isolados como sequência das ordens de fabricação, discreto relatório de indicadores de desempenho e algum

conhecimento sobre modelagem. Obtiveram os valores de 10, 13 e 19 pontos, respectivamente, de ANMC, sendo classificada na região vermelha com um nível de maturidade básico.

De acordo com o modelo proposto, capítulo 7, o nível geral de maturidade obteve 28 pontos de ANMM. Portanto essa EMPRESA está classificada como embrionária.

De uma maneira geral, as capacitações ainda estão no início do seu desenvolvimento. Há necessidade de muita atenção e esforço para evoluir e alcançar níveis mais altos de maturidade em cada capacitação.

Em relação ao Conhecimento sobre simulação é preciso que os gestores dos processos aprendam sobre modelagem, verificação e validação de modelos, softwares de simulação, estudos estocásticos e estudos de caso com aplicações utilizando simulação computacional.

Tabela 27: Resultados da aplicação do questionário de maturidade – quarto caso.

Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC	Capacitação	Questão	Resposta	Pontos	ANMC
Conhecimento sobre simulação	1	b	2,5	10	Organização dos processos	1	a	0	13
	2	b	2,5			2	b	2,5	
	3	a	0			3	a	0	
	4	a	0			4	a	0	
	5	a	0			5	b	2,5	
6	b	2,5	6	b		2,5			
Padronização dos processos	1	d	7,5	42	Medição e avaliação	1	d	7,5	42
	2	d	7,5			2	d	7,5	
	3	b	2,5			3	c	5,0	
	4	a	0			4	a	0	
	5	d	7,5			5	c	5,0	
	6	a	0			6	a	0	
Desenvolvimento dos especialistas	1	d	7,5	42	Programas de gerenciamento	1	c	5	19
	2	c	5,0			2	b	2,5	
	3	d	7,5			3	a	0	
	4	a	0			4	a	0	
	5	a	0						
	6	c	5,0						

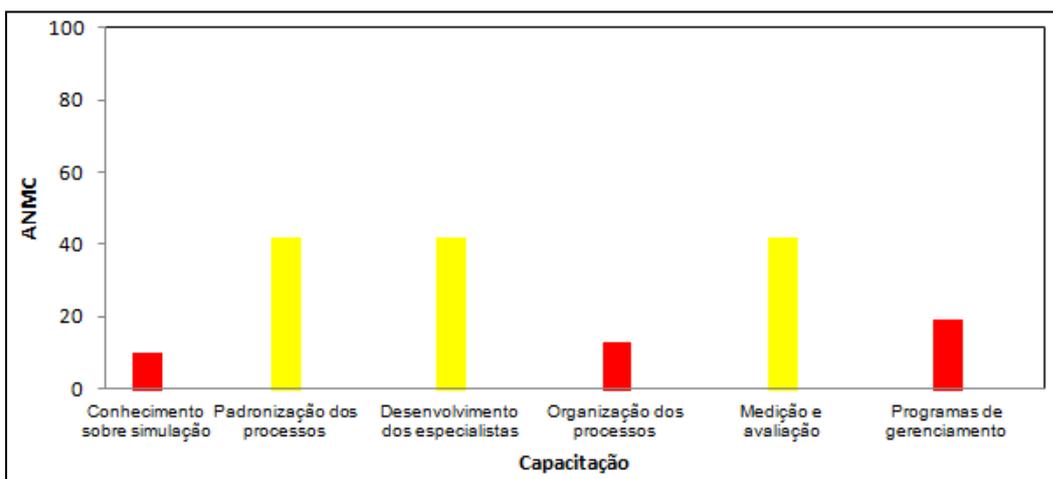


Gráfico 10: Perfil das capacitações aos ANMC's do quarto caso.

Para Padronização dos processos é importante desenvolver e implantar uma documentação técnica visando minimizar a ocorrência dos desvios na execução das atividades, independente de quem as faça, garantindo assim, a uniformidade dos processos envolvidos. Essa capacitação deve ser difundida entre todos os participantes dos processos operacionais.

Para Desenvolvimento dos especialistas é importante evoluir no conhecimento técnico sobre os processos e na habilidade de entender e explicar como os fenômenos ocorrem. Para isso, são desenvolvidos os programas de treinamento específico sobre os processos em que estão envolvidos e de capacitação técnica para os membros da equipe.

A evolução da capacitação Organização dos processos é obtida através do uso de ferramentas, diretrizes ou outros meios formais para avaliar o desempenho dos recursos necessários, assim como também o conhecimento e níveis de experiência do pessoal envolvido. O objetivo é garantir um desempenho eficiente e eficaz dos fluxos produtivos em uma empresa.

Com relação à Medição e avaliação, a evolução é desenvolvida através das definições dos parâmetros, das frequências de coletas e análises dos dados relativos à suas medições e avaliações. Dessa forma a EMPRESA irá dispor de informações qualitativas e quantitativas sobre qualquer atividade de interesse, podendo diagnosticar e compreender os problemas relacionados ao desempenho dos processos.

Na capacitação Programas de gerenciamento, o desenvolvimento do nível de maturidade é realizado pelo aumento do domínio do conhecimento sobre gerenciamento dos processos. Esse conhecimento é obtido através dos treinamentos específicos em gestão de acordo com as políticas internas e das estratégias necessárias para o bom funcionamento dos processos.

Portanto, recomenda-se que o uso da metodologia de simulação para essa EMPRESA deva ser moderado, como por exemplo, aplicado em pequenos casos isolados no processo. Outra possibilidade é ser considerado somente quando os níveis mais altos de maturidade forem alcançados.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia, estruturada em duas etapas, que visa à avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos com aplicação na manufatura. Na primeira etapa foi proposto um quadro de avaliação dos processos operacionais com base nos modelos de maturidade. Na segunda etapa foi proposto um conjunto estruturado de critérios para analisar e selecionar os softwares de simulação por meio do uso do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), utilizado na resolução de problemas de multicritérios.

Nesse sentido, foi apresentado um amplo levantamento dos principais modelos de maturidade publicados na literatura, o que possibilitou elaborar uma metodologia de autoavaliação, baseada em questionário, com foco nos sistemas produtivos. O nível de desenvolvimento dos processos foi medido por meio das capacitações Conhecimento sobre simulação, Padronização dos processos, Desenvolvimento dos especialistas, Organização dos processos, Medição e Avaliação e Programas de gerenciamento. Cada capacitação foi avaliada em cinco níveis de maturidade, tendo sido sugerida uma métrica. A importância dessa etapa no modelo de avaliação e seleção do software consiste em contribuir para a geração de conhecimento acerca de como situar uma indústria em relação ao grau de maturidade dos seus processos produtivos, de forma a que esteja em condições de aplicar a metodologia de simulação computacional.

Foi desenvolvida uma pesquisa com a finalidade de verificar a participação da metodologia de simulação computacional nos trabalhos publicados, bem como de apresentar os softwares de simulação de eventos discretos mais citados na literatura com uso nos sistemas de manufatura. Tal pesquisa constatou o aumento significativo do número de publicações ao longo dos últimos 15 anos, indicando assim, ou sugerindo, uma forte tendência do uso dessa metodologia na aplicação para diferentes domínios da manufatura. Constatou também que, entre os softwares de simulação comerciais mais citados na literatura, há uma ampla

utilização do Arena (53,0%), seguido pelo ProModel (18,3%), e o Flexsim (9,3%). Esses três softwares juntos representam mais de 80% das publicações.

Para a elaboração da segunda etapa do modelo proposto, realizou-se um vasto levantamento bibliográfico dos principais modelos de avaliação e seleção de softwares. Dessa forma, tornou-se possível propor um conjunto estruturado de critérios que pudesse lidar com o aspecto dinâmico da evolução dos softwares. Foram propostos 7 grupos de critérios, contendo um total de 56 subcritérios para avaliar os softwares de simulação mais citados na literatura com uso nos sistemas produtivos de uma manufatura. A ponderação desses critérios foi feita através da elaboração e aplicação de um questionário de forma a captar as necessidades dos usuários com relação aos recursos dos softwares de simulação. A análise dessa estrutura formal e sistemática foi feita através da técnica de resolução de problemas de multicritérios AHP, considerando-se a consistência nas análises.

A metodologia de duas etapas desenvolvida neste trabalho foi aplicada em quatro indústrias distintas com diferentes segmentos de mercado, sendo eles: têxteis - fios sintéticos, bebidas - latas e tampas de alumínio, papel e celulose – papéis especiais e construção civil - andaimes. Os questionários foram respondidos pelo gestor da unidade, e os resultados foram apresentados e discutidos em grupo, formado pelo gestor, um responsável pelos processos e um responsável da área de sistemas. Em cada aplicação foram analisados o nível de maturidade dos processos e as características desejáveis nos softwares de simulação, de forma a atender as necessidades específicas dos processos operacionais nos sistemas produtivos.

No caso da maturidade, pôde-se observar a fácil aplicabilidade do modelo proposto; entretanto, vale ressaltar os cuidados necessários durante a avaliação da maturidade dos processos por parte dos gestores. Os objetivos de uma avaliação de maturidade devem estar muito claros, visto que seus resultados são importantes para identificar as falhas nas evoluções dos processos. Devem ser tratados do modo mais realista possível, e não como algo que será apenas exposto.

O modelo de maturidade proposto veio a se revelar como uma contribuição para as empresas estudadas, ao mostrar o estado atual em relação à maturidade dos seus processos produtivos e ao identificar as principais lacunas a serem melhoradas. Todavia, vale ressaltar que, embora se tenha verificado essa

contribuição, o objetivo principal é avaliar se a empresa em estudo tem as condições necessárias para aplicar a metodologia de simulação computacional. No segmento de fabricação de latas e tampas de alumínio a empresa estudada apresentou o mais alto nível de maturidade sendo classificada, de acordo com o modelo, como otimizada. As empresas dos segmentos de produção de fios sintéticos e de papeis especiais tiveram os seus níveis de maturidade qualificados como gerenciado. Essas três empresas mostraram que os seus processos produtivos possuem todas as condições para adoção da metodologia de simulação computacional. A empresa do segmento de construção civil apresentou o mais baixo nível de maturidade sendo classificada como embrionária. As capacitações avaliadas para essa empresa ainda estão no início do seu desenvolvimento, tendo ainda a necessidade de muita atenção e esforço para evoluir e alcançar níveis mais altos de maturidade em cada capacitação do seu processo produtivo. Portanto foi recomendado que o uso da metodologia de simulação fosse moderado, como por exemplo, aplicado em pequenos casos isolados no processo. Outra possibilidade é ser considerado somente quando os níveis mais altos de maturidade forem alcançados.

Em relação à avaliação e seleção de software o modelo proposto apresentou estar alinhado com os avanços tecnológicos e com as evoluções dos softwares. Foi capaz de captar, de uma forma estruturada, os critérios de interesse dos gestores com relação aos recursos dos softwares de simulação. Ressalta-se a importância na ponderação de cada um dos critérios de modo que sejam avaliados segundo as características do processo que está em estudo e dos objetivos que desejam ser obtidos.

Um ponto importante a ser considerado é que a estrutura hierárquica atual pode ser atualizada a qualquer momento, adicionando ou retirando critérios, assim como também, as alternativas de softwares.

Outro ponto a ser destacado diz respeito ao processo de seleção, que ficou simplificado com a utilização de uma abordagem estruturada com base no método AHP, considerando a consistência nas avaliações. Com o uso da escala de importância de Saaty (1980) foi possível realizar a comparação do desempenho de um software frente a um determinado critério em relação a outro software.

Este trabalho espera assim contribuir para os campos acadêmico e profissional por meio da elaboração, desenvolvimento e aplicação de uma metodologia estruturada para avaliação e seleção de software de simulação de eventos discretos. Além disso, possibilita também realizar análises dos processos através de um modelo de maturidade.

Por fim, com base nos resultados obtidos nesse trabalho, pode-se sugerir como potenciais temas para trabalhos futuros:

- Incorporação de novos critérios ao modelo de avaliação e seleção de softwares, levando em conta a evolução tecnológica e a atualização dos softwares.
- Estudo de outros softwares de simulação e com outras empresas, utilizando a abordagem conceitual proposta nessa pesquisa.
- Estudos de outras técnicas para resolução de problemas de multicritérios, como alternativa ao uso do AHP.

Revisão bibliográfica

ALLEN, N.A.; SHAFFER, C.A.; WATSON, L.T. Building modeling tools that support verification, validation, and testing for the domain expert. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 419-426, 2005.

ALI, N.B.; PETERSEN, K.; WOHLIN, C. A systematic literature review on the industrial use of software process simulation. **The Journal of Systems and Software**, v. 97, p. 65-85, 2014.

ARENA SIMULATION SOFTWARE. Disponível em <http://www.arenasimulation.com>, Acesso em: outubro de 2014.

AZADEH, A.; MAGHSOUDI, A. Optimization of production systems through integration of computer simulation, design of experiment, and Tabu search: the case of a large steelmaking workshop. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 48, p. 785-800, 2010.

AZADEH, A.; SHIRKOUHI, S.N.; REZAIE, K. A robust decision-making methodology for evaluation and selection of simulation software package. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 47, p. 381-393, 2010.

BANKS, J. Selecting simulation software. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 15-20, 1991.

BANKS, J. Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice, 1ª ed, Wiley-IEEE, 1998.

BARBOSA, A.O. Simulação e técnicas da computação evolucionária aplicada a problemas de programação linear inteira mista, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

BARRATT, M.; CHOI, T.Y.; LI, M., Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v 29, p. 329-342, 2011.

BELGE CONSULTORIA. Disponível em <http://www.belge.com.br/>. Acesso em outubro de 2014.

BERSSANETI, F. T.; CARVALHO, M. M. Identification of variables that impact project success in Brazilian companies. **International Journal of Project Management**, v. 33, p. 638-649, 2015.

BOSCH-MAUCHAND, M.; SIADAT, A.; PERRY, N.; BERNARD, A. VCS: value chains simulator, a tool for value analysis of manufacturing enterprise processes (a value-based decision support tool). **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 23, p. 1389-1402, 2012.

BOUER, R.; CARVALHO, M. M. Metodologia singular de gestão de projetos: condição suficiente para a maturidade em gestão de projetos? **Revista Produção**, v. 15, n. 3, p. 347-361, Set./Dez. 2005.

BRAHMADEEP, S.T. A simulation based comparison: Manual and automatic distribution setup in a textile yarn rewinding unit of a yarn dyeing factory. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 45, p. 80-90, 2014.

CHAI, J.; Liu, J.N.K.; NGAI, E.W.T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, p. 3872-3885, 2013.

CHUNG, C.A. Simulation Modeling Handbook: a practical approach. This edition published in the Taylor & Francis e-Library, 2006.

CMMI® para Desenvolvimento – Versão 1.2. Disponível em http://www.sei.cmu.edu/library/assets/whitepapers/cmmi-dev_1-2_portuguese.pdf. Acesso em setembro de 2014.

COCHRAN, J.K.; CHEN, H.N. Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis. **Computers & Operations Research**, v. 32, p. 153-168, 2005.

CRESWELL, J. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, 3ª ed, SAGE, 2009.

CROSBY, P.B. Quality is free. New York, NY: McGraw-Hill; 1979.

DAVIES, C.T. Project management maturity models, in: P.W.G. Morris, J.K. Pinto (Eds.), The WILEY GUIDE to Project Organization & Project Management Competencies, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, p. 290-311, 2007.

DAVIS, L.; WILLIAMS, G. Evaluation and Selecting Simulation Software Using the Analytic Hierarchy Process. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 5(1), p. 23-32, 1994.

EKREN, B.Y.; ORNEK, A.M. A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v.16, p. 278-293, 2008.

EISANHARDT, K.M. Building Theory from Case Study Research Academy of Management Review, v. 14, Nº 4, p. 532-550, 1989.

ESKANDARI, H.; MAHMOODI, E.; FALLAH, H.; GEIGER, C.D. Proceedings of the Winter Simulation Conference, p. 2358-2368, 2011.

MIN, F.Y.; YANG, M.; WANG, Z.C. Knowledge-based method for the validation of complex simulation models. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 18, p. 500-515, 2010.

FLEXSIM. Flexsim Simulation Software. Disponível em <https://www.flexsim.com/>. Acesso em outubro de 2014.

GARRIDO, J.M. Object Oriented Simulation: A Modeling and Programming Perspective. New York: Springer, 2009.

GÖLEÇ, A.; TASKIN, H. Novel methodologies and a comparative study for manufacturing systems performance evaluations. **Information Sciences**, v. 177, p. 5253-5274, 2007.

GORE, R.; DIALLO, S. The need for usable formal methods in verification and validation. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 1257-1268, 2013.

GREASLEY, A. Using simulation for facility design: A case study. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 16, p. 670-677, 2008.

GREENWOOD, A.; BEAVERSTOCK, M. Simulation Education – Seven Reasons for Change. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 20-28, 2011.

GUPTA, A.; SINGH, K.; VERMA, R. A critical study and comparison of manufacturing simulation softwares using analytic hierarchy process. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 5, No. 1, p. 108-129, 2010.

HAMMER, M. Os sete pecados capitais da medição do desempenho. **Revista HSM Management**, São Paulo, n. 64, p. 42-50, set/out. 2007a.

HAMMER, M. The audit process. **Harvard Business Review**, Boston, v. 35, n° 4, p. 73-84, abr.2007b.

HARRELL, C.R.; BATEMAN, R.E.; GOGG, T.J.; MOTT, J.R. A. System Improvement Using Simulation, 1° ed, McGraw-Hill, 2000.

HARRELLI, C.R.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. Simulation Using ProModel. McGraw-Hill Professional, 2ª ed, 2004.

HARRELL, C.R.; PRICE, R.N. Simulation modeling using Promodel Technology. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 175-181, 2003.

HLUPIC, V.; IRANI, Z.; PAUL, R.J. Evaluation Framework for Simulation Software. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 15, p. 366-382, 1999.

HOLLMANN, D.A.; CRISTIÁ, M.; FRYDMAN, C. A family of simulation criteria to guide EVS models validation rigorously, systematically and semi-automatically. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 49, p. 1-26, 2014.

HOLLOCKS, B. A well-kept secret? Simulation in manufacturing review. **OR Insight**, v. 5, n° 4, p. 12-17, 1992.

JADHAV, A.S.; SONAR, R.M. Evaluating and selecting software packages: A review. **Information and Software Technology**, v. 51, p. 555-563, 2009.

JADHAV, A.S.; SONAR, R.M. Framework for evaluation and selection of the software packages: A hybrid knowledge based system approach. **The Journal of Systems and Software**, v. 84, p. 1394-1407, 2011.

JAGDEV, H.S.; BROWNE, J.; JORDAN, P. Verification and validation issues in manufacturing models. **Computers in Industry**, v. 25, p. 331-353, 1995.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; STURROCK, D.T. Simulation with Arena, McGraw-Hill Professional, 3^a ed, 2004.

KETOKIVI, M.; CHOI, T. Reanissance of case research as a scientific method. **Journal of Operations Management**, v. 32, p. 232-240, 2014.

KERZNER, H. Strategic Planning for Project Management using a project management Maturity Model. Nova York: John Wiley & Sons, 2001.

KLEIJNEN, J.P.C. Theory and Methodology, Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v. 82, p. 145-162, 1995.

KLIMKO, G. Knowledge management and maturity models: building common understanding. **Proceedings of the 2nd European Conference on Knowledge Management**, p. 269-278, 2001.

KOCH, J.; MAISENBACHER, S.; MAURER, M.; REINHART, G.; ZÄH, M.F. Structural modeling of extended manufacturing systems – an approach to support changeability by reconfiguration planning. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 142-147, 2014.

KOHOUTEK, H.J. Reflections on the capability and maturity models of engineering processes. **Quality Reliability Engineering International**, v. 12, p. 147-155, 1996.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. Simulation Modeling and Analysis. Third Edition. McGraw-Hill, 2000.

LEAL, J.E. Método AHP: Análise do Método Simplificado de Cálculo. Memorando Técnico do DEI, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-RJ, 2008.

LIANYINGA, Z.; JINGA, H.; XINXING, Z. The Project Management Maturity Model and Application Based on PRINCE2. **Procedia Engineering**, v. 29, p. 3691-3697, 2012.

MACBRIDE, T. Organisational theory perspective on process capability measurement scales. **Journal of software maintenance and evolution: research and practice**, v. 22, p. 243-254, 2010.

MACKULAK, G.; CICHAN, J.; SAVORY, P. Ascertaining Important Features for Industrial Simulation Environments. **Simulation**, v. 63, No. 4, p. 211-221, 1994.

MATTAR, F. N. Pesquisa de Marketing - Metodologia, Planejamento, Execução e Análise. 7ª. ed. Elsevier, 2014.

MCCLELLAN, J.J. The benefit of using simulation to improve the implementation of lean manufacturing case study: quick changeovers to allow level loading of the assembly line, Msc thesis, Brigham Young University, 2004.

MCLEAN, C.; LEONG, S. The Role of Simulation in Strategic Manufacturing, Proceedings of the 33rd Conference on Winter Simulation, p. 1478-1486, 2001.

MELOUK, S.H.; FREEMAN, N.K.; MILLER, D.; DUNNING, M. Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. **International Journal Production Economics**, v. 141, p. 269-276, 2013.

MPCM - Maturity by Project Category Model. Disponível em http://www.maturityresearch.com/novosite/2006/downloads/Modelo_PradoMMG_P_V4_TextoDescritivo.pdf, Acesso em setembro de 2014.

NEGAHBAN, A.; SMITH, J. S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, p. 241-261, 2014.

NIKOUKARAN, J.; HLUPIC, V.; PAUL, R.J. A hierarchical framework for evaluating simulation software. **Simulation Practice and Theory**, v. 7, p. 219-231, 1999.

NORDGREN, W.B. Flexsim Simulation Environment. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, v. 1, p. 197-200, 2003.

OBERKAMPF, W.L.; TRUCANO, T.G. Verification and validation benchmarks. **Nuclear Engineering and Design**, v. 238, p. 716-743, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, P.M. A Framework for Assessing and Guiding Progress towards a Demand Driven Supply Chain (DDSC). Doctoral Thesis. Industrial Engineering Department. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, (2010).

OLSEN, M.; RAUNAK, M. A framework for simulation validation coverage. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 1569-1580, 2013.

ORMS TODAY. Simulation Software Survey. <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation1.html>. Acessado em novembro de 2015.

PALOMINOS, P.; QUEZADA, L.; MONCADA, G. Modeling the response capability of a production system. **International Journal of Production Economics**, v. 122, p. 458-468, 2009.

PAPAVASILEIOU, V.; KOULOURIS, A.; SILETTI C.; PETRIDES, D. Optimize manufacturing of pharmaceutical products with process simulation and production scheduling tools. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 85(A7), p. 1086-1097, 2007.

PARAGON. Decision Science. Disponível em <http://www.paragon.com.br/>. Acesso em outubro de 2014.

PEREIRA, I.C. Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, 2000.

PIDD, M. Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão, Bookman, 1ª ed, 1997.

PIERREVAL, H.; BRUNIAUX, R.; CAUX, C. A continuous simulation approach for supply chains in the automotive industry. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 15, p. 185-198, 2007.

PMSURVEY.ORG - PMSURVEY.ORG 2013 Edition. Project Management Institute. Disponível em <http://www.pmsurvey.org/>, Acesso em setembro de 2014.

PRADO, D. Maturidade em Gerência de Projetos. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2008.

PRADO, D. Usando o Arena em simulação. INDG Tecnologia e Serviços Ltda. 4ª Ed, 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3) Knowledge Foundation. Project Management Institute, Inc., Pennsylvania, USA, 2003.

PROMODEL CORPORATION. Disponível em <http://www.promodel.com/>. Acesso em outubro de 2014.

PULLEN, W. A public sector HPT maturity model. **Perform. Improv.**, v. 46, p. 9-15, 2007.

RABE, M.; SPIECKERMANN, S.; WENZEL, S. A new procedure model for verification and validation in production and logistics simulation. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 1717-1726, 2008.

RAKIMAN, U.S.B.; BON, A.T. Production Line: Effect of Different Inspection Station Allocation. **Procedia Engineering**, v. 53, p. 509-515, 2013.

RAVENSWOOD, K. Eisenhardt's impact on theory in case study research. **Journal of Business Research**, v. 64, p. 680-686, 2011.

RAZA, A.; CAPRETZ, L.F.; AHMED, F. An open source usability maturity model (OS-UMM). **Computers in Human Behavior**, v. 28, p. 1109-1121, 2012.

RINCON, G.; ALVAREZ, M.; PEREZ, M.; HERNANDEZ, S. A discrete-event simulation and continuous software evaluation on a systemic quality model: An oil industry case. **Information & Management**, v. 42, p. 1051-1066, 2005.

RIVERA-GÓMEZ, H.; GHARBI, A.; KENNÉ, J.P. Joint production and major maintenance planning policy of a manufacturing system with deteriorating quality. **International Journal Production Economics**, v. 146, p. 575-587, 2013.

RODRIGUES, L.H. Developing an approach to help companies synchronise manufacturing. Tese de doutorado, Department of Management Science University of Lancaster, 1994.

SAATY, T.L.; ROGERS, P.C. Higher Education in the United States (1985-2000) Scenario Construction Using a Hierarchical Framework with Eigenvector Weighting. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 10, p. 251-263, 1976.

SAATY, T.L. The analytic hierarchy process. McGraw Hill, New York, 1980.

SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 183-198, 2011.

SANDANAYAKE, Y.G.; ODUOZA, C.F.; PROVERBS, D.G. A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, p. 735-743, 2008.

SANDANAYAKE, Y.G.; ODUOZA, C.F. Dynamic simulation for performance optimization in just-in-time-enabled manufacturing processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 42, p. 372-380, 2009.

SAWANT, V.B.; MOHITE, S.S. A decision-making framework for simulation software selection problem using a preference selection index method. **Springer's Communications in Computer and Information Science series**, p. 176-181, 2011.

SHAABAN, S.; MCNAMARA, T.; HUDSONB, S. Mean time imbalance effects on unreliable unpaced serial flow lines. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, p. 357-365, 2014.

SIEBERS, P.O. The impact of human performance variation on the accuracy of manufacturing system simulation models, PhD Thesis, Cranfield University, school of industrial and manufacturing, 2004.

SOUZA, T.F.; SIMÕES C.F. Assessment of Maturity in Project Management: A Bibliometric Study of Main Models. **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 92-101, 2015.

TEWOLDEBERHAN, T.W.; VERBRAECK, A.; VALENTIN, E.; BARDONNET, G. An Evaluation and Selection Methodology for Discrete-Event Simulation Software. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 67-75, 2002.

TSANG, E.W.K. Case study methodology: causal explanation, contextualization, and theorizing. **Journal of International Management**, v. 19, p. 195-202, 2013.

WANG, Z. Selecting verification and validation techniques for simulation projects: A planning and tailoring strategy. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, p. 1233-1244, 2013.

WECKENMANN, A.; AKKASOGLU, G. Methodic design of a customized maturity model for geometrical tolerancing. **Procedia CIRP**, v. 10, p. 119-124, 2013.

WENDLER, R. The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. **Information and Software Technology**, v. 54, p. 1317-1339, 2012.

YIN, R. Case Study Research: Design and Methods, 4^a ed, SAGE, 2009.

YOON, K.; HWANG, C. Multiple Attribute Decision-Making: An Introduction. Sage Publisher, 1995.

ZENGIN, A.; OZTURK, M.M. Formal verification and validation with DEVS-Suite: OSPF Case study. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 29, p. 193-206, 2012.

Apêndice 1 - Avaliação da maturidade dos processos operacionais industriais para aplicação da simulação computacional: Questionário de pesquisa.

Caracterização do entrevistado:

Formação: _____ .

Cursos realizados pela empresa: _____

Tempo de empresa: _____ .

Principal função: _____ .

Caracterização da empresa:

Qual a localização? _____ .

Qual o principal setor de atuação? _____ .

Qual o número de funcionários?

até 20

21 – 50

51 – 100

101 – 500

acima de 500

Total de unidades do grupo instaladas no Brasil: _____ .

Total de unidades do grupo instaladas no exterior: _____ .

Para as próximas perguntas, assinalar somente uma alternativa para cada questão apresentada. Abaixo de cada questão, você deverá assinalar a opção correspondente a sua avaliação / percepção, segundo a legenda exibida abaixo, que varia desde discordo totalmente até concordo totalmente. Marque a resposta que você considere correta, não aquela que você desejaria.

- a) Discordo Totalmente
- b) Discordo Parcialmente
- c) Não concordo nem discordo
- d) Concordo Parcialmente
- e) Concordo Totalmente

Conhecimento sobre Simulação

- 1) A equipe técnica possui conhecimento sobre modelagem de processos.
a) b) c) d) e)
- 2) A equipe técnica possui conhecimento sobre verificação e validação de modelos de processos.
a) b) c) d) e)
- 3) A equipe técnica recebeu treinamento sobre processos estocásticos.
a) b) c) d) e)
- 4) A equipe técnica recebeu treinamento em simulação computacional.
a) b) c) d) e)
- 5) A equipe técnica desenvolveu trabalhos utilizando simulação computacional.
a) b) c) d) e)

Padronização dos Processos

- 1) A organização possui um processo de elaboração de requisitos a serem atendidos fundamentados em especificações técnicas.
a) b) c) d) e)
- 2) A organização possui um processo de descrição dos requisitos desenvolvido por um grupo técnico.
a) b) c) d) e)
- 3) A organização possui um processo de aprovação formal das especificações e procedimentos.
a) b) c) d) e)
- 4) A organização possui um processo de manutenção ou revisão periódica para garantir que o padrão continue em sintonia com os órgãos internacionais de normalização e/ou as exigências do mercado.
a) b) c) d) e)
- 5) A organização estabelece e utiliza procedimentos e especificações nos processos operacionais.
a) b) c) d) e)
- 6) Existe um programa de treinamento e reciclagem nos procedimentos e especificações acessível a todos os funcionários.
a) b) c) d) e)

Desenvolvimento dos Especialistas

1) A equipe técnica conhece os processos do setor em que trabalha.

a) b) c) d) e)

2) A equipe técnica tem o conhecimento do fluxo detalhado dos processos, bem como suas iterações, os efeitos sobre os clientes e fornecedores.

a) b) c) d) e)

3) A equipe técnica conhece os efeitos do processo que executa sobre os outros processos da organização.

a) b) c) d) e)

4) Existe um programa de treinamento em aperfeiçoamento e/ou capacitação técnica para os membros da equipe.

a) b) c) d) e)

5) Existe um programa de treinamento específico sobre os processos em que estão envolvidos.

a) b) c) d) e)

6) Pelo menos 60% da equipe técnica possui mais de 3 anos trabalhando nesse setor.

a) b) c) d) e)

Organização dos Processos

1) A organização tem as ferramentas, diretrizes ou outros meios formais para avaliar o desempenho dos recursos necessários, e o conhecimento e níveis de experiência do pessoal envolvido.

a) b) c) d) e)

2) A organização elabora e utiliza para gerenciamento dos seus processos:

Sequencia das ordens de fabricação.

a) b) c) d) e)

3) Planejamento da Qualidade.

a) b) c) d) e)

4) Controle do cronograma.

a) b) c) d) e)

5) A organização possui um relatório de indicadores de desempenho.

a) b) c) d) e)

6) A organização, através dos seus gestores, analisa e toma as ações necessárias para minimizar os desvios.

- a) b) c) d) e)

Medição e Avaliação

1) A organização usa padrões internos e externos para medir e melhorar o desempenho dos processos.

- a) b) c) d) e)

2) A organização tem uma definição de quais os parâmetros devem ser medidos e avaliados.

- a) b) c) d) e)

3) A organização tem uma definição da frequência de coleta para cada parâmetro.

- a) b) c) d) e)

4) A organização tem uma definição de quais as análises serão feitas com os dados coletados.

- a) b) c) d) e)

5) Os resultados das análises são divulgados e compreendidos pela equipe técnica.

- a) b) c) d) e)

6) Os indicadores de desempenho dos processos são divulgados e compreendidos por todos os participantes do setor.

- a) b) c) d) e)

Programas de Gerenciamento

1) A organização usa algum tipo de programa de gerenciamento para os processos.

- a) b) c) d) e)

2) Existe um programa de treinamento contínuo em gestão de processos acessível a todos os funcionários.

- a) b) c) d) e)

3) Existe um programa de treinamento para capacitar os gestores nos programas de gerenciamento dos processos.

- a) b) c) d) e)

4) Os executivos da organização apoiam os programas de gerenciamento por meio de palestras, curso, artigos e inclusive com a presença em reuniões.

- a) b) c) d) e)

Apêndice 2 - Questionário para avaliação e seleção do software de simulação: Questionário de pesquisa.

Para as próximas perguntas, assinalar somente uma alternativa para cada questão apresentada. As perguntas devem ser respondidas através de uma escala de necessidades que pela sua avaliação / percepção, identifica quais os critérios e grupos de critérios, segundo a legenda exibida abaixo, varia desde:

- (a) totalmente indispensável
- (b) parcialmente indispensável
- (c) neutro
- (d) parcialmente dispensável
- (e) totalmente dispensável.

Marque a resposta que você considere correta, não aquela que você desejaria.

Requisitos técnicos gerais

1) É importante que o software selecionado tenha portabilidade para trabalhar em plataformas de hardware diferentes como: Intel, Apple, Sun Microsystems, entre outras.

- a) b) c) d) e)

2) É importante que o software selecionado tenha compatibilidade para trabalhar em sistemas operacionais diferentes como: Windows, Linux, OS, entre outros.

- a) b) c) d) e)

3) O usuário deseja trabalhar com versão em rede possibilitando a visualização e execução do software simultânea em vários pontos.

- a) b) c) d) e)

4) É importante que o software selecionado tenha dispositivos de segurança limitando o acesso as informações.

- a) b) c) d) e)

5) Em relação ao grupo de critério **Requisitos Técnicos gerais** (questões de 1 a 4), qual seria a sua importância.

- a) b) c) d) e)

Entrada e saída de dados

1) É importante que o software selecionado importe e exporte dados de arquivos, planilhas e banco de dados.

a) b) c) d) e)

2) É importante que o software selecionado gere relatórios/gráficos com informações estatísticas dos dados de entrada como: média, desvio padrão, variância, mediana, intervalo de confiança, teste os dados às distribuições de probabilidades, entre outras.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o software selecionado gere relatórios/gráficos com informações estatísticas dos dados de saída como: utilização dos recursos, tempo das entidades na fila, tempo das entidades em deslocamento, tempo das entidades em processo, número médio, máximo e mínimo de entidades nas filas, o número total de entidades que chegaram ao final do processo, o lead time médio, máximo e mínimo das entidades, os valores assumidos pelas variáveis, entre outras.

a) b) c) d) e)

4) É importante que o software selecionado tenha suporte para coleta automática de dados a partir de sistemas externos.

a) b) c) d) e)

5) É importante que o software selecionado tenha entrada *batch*, ou seja, todos os dados são agrupados e processados em lotes.

a) b) c) d) e)

6) É importante que o software selecionado tenha entrada interativa, ou seja, os dados podem ser coletados a qualquer momento.

a) b) c) d) e)

7) É importante que o software selecionado tenha alguma ferramenta para realizar uma verificação da consistência dos dados de entrada.

a) b) c) d) e)

8) Em relação ao grupo de critério **Entrada e saída de dados** (questões de 1 a 7), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)

Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento

1) É importante à existência de uma interface gráfica para ajudar no desenvolvimento/construção dos modelos.

a) b) c) d) e)

2) É importante que o software selecionado tenha uma ampla biblioteca com símbolos para as diversas situações dos processos operacionais dos sistemas produtivos.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o software selecionado tenha editores para personalizar esses símbolos.

a) b) c) d) e)

4) É importante que o software selecionado permita a importação desses símbolos de outros softwares.

a) b) c) d) e)

5) É importante que o software selecionado permita a importação de imagens para representar o gráfico de fundo.

a) b) c) d) e)

6) É importante que o software selecionado tenha editores para personalizar essas imagens de fundo.

a) b) c) d) e)

7) É importante ter a possibilidade de incorporar/unir modelos menores já elaborados em outros em elaboração.

a) b) c) d) e)

8) É importante que o software selecionado tenha assistente para codificação, por exemplo, através de caixas de dialogo.

a) b) c) d) e)

9) É importante que o software selecionado permita acesso ao código fonte de forma que o usuário possa desenvolver modelos personalizados para processos mais complexos.

a) b) c) d) e)

10) É importante que o software selecionado tenha uma ampla biblioteca com funções internas.

a) b) c) d) e)

11) É importante que o software selecionado tenha a possibilidade de personalizar as funções internas.

a) b) c) d) e)

12) É importante que o software selecionado permita a criação de variáveis e atributos.

a) b) c) d) e)

13) É importante que o software selecionado tenha uma ampla biblioteca com objetos programáveis utilizados nos processos operacionais dos sistemas produtivos, tais como:

Esteiras, correias transportadoras, junção e desmembramento, desvios e escolhas, transportadores, executor de tarefas, guindastes, veículos guiados automaticamente, entre outros.

a) b) c) d) e)

14) É importante que o software selecionado tenha a opção de programação de horários. Como início e fim de turnos, refeição, manutenção preventiva, entre outras.

a) b) c) d) e)

15) É importante que o software selecionado tenha a possibilidade de criar regras para o roteamento das entidades.

a) b) c) d) e)

16) É importante que o software selecionado tenha diferentes regras para a formação das filas. Como FIFO, LIFO, entre outras.

a) b) c) d) e)

17) É importante que o software selecionado tenha uma ampla biblioteca de variáveis específicas para calcular/configurar os custos envolvidos nos processos operacionais dos sistemas produtivos.

a) b) c) d) e)

18) É importante que o software selecionado possua um baixo nível de aprendizagem, ou seja, possui um rápido e fácil entendimento.

a) b) c) d) e)

19) Em relação ao grupo de critério **Requisitos técnicos específicos: Desenvolvimento** (questões de 1 a 17), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)

Requisitos técnicos específicos: Execução

1) O software selecionado deve permitir configurar parâmetros relativos à execução da simulação, tais como: Quantidade de replicações, duração da simulação, tempo de aquecimento, lógica de inicialização da simulação, lógica de término da simulação, controle de velocidade durante a execução, entre outros.

a) b) c) d) e)

2) É importante que o software selecionado permita a interação do usuário durante a execução de uma simulação sem ser necessário reiniciar o modelo.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o software selecionado tenha a opção de visualizar uma animação durante a execução do modelo.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o software selecionado tenha a opção de ativar ou desativar a animação durante a execução do modelo.

a) b) c) d) e)

5) É importante que o software selecionado tenha a opção de visualizar os valores instantâneos das variáveis desejadas durante a execução do modelo.

a) b) c) d) e)

6) É importante que o software selecionado tenha a opção de animação em 3D.

a) b) c) d) e)

7) É importante que o software selecionado possua otimização

a) b) c) d) e)

8) É importante que a programação do modelo seja orientada por fluxograma.

a) b) c) d) e)

9) É importante que a programação do modelo seja orientada por objeto.

a) b) c) d) e)

10) É importante que o software selecionado tenha facilidade para ser customizado pelo usuário.

a) b) c) d) e)

11) É importante que o nível de programação utilizada na elaboração dos modelos seja simplificada.

a) b) c) d) e)

12) É importante que o software selecionado se destaque pela sua qualidade visual.

a) b) c) d) e)

13) É importante que o software selecionado tenha um maior conjunto de opções para experimentação.

a) b) c) d) e)

14) Em relação ao grupo de critério **Requisitos técnicos específicos: Execução** (questões de 1 a 7), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)

Avaliação da eficiência e teste

1) É importante que o software selecionado tenha a opção de localização e correção de erros (debug).

a) b) c) d) e)

2) É importante que o software selecionado tenha a opção de validação do modelo, mostrando os erros e sugerindo soluções.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o software selecionado tenha a opção de verificar a consistência da lógica utilizada no modelo mostrando os erros e sugerindo soluções.

a) b) c) d) e)

4) Em relação ao grupo de critério **Avaliação da eficiência e teste** (questões de 1 a 4), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)

Suporte técnico

1) É importante que o fornecedor do software selecionado tenha um manual contendo explicações dos principais comandos, funções e menus.

a) b) c) d) e)

2) É importante que o fornecedor do software selecionado ofereça um tutorial explicando o uso, através de exemplos, das funcionalidades do simulador.

a) b) c) d) e)

3) É importante que o fornecedor do software selecionado ofereça suporte *on line*.

a) b) c) d) e)

4) É importante que o fornecedor do software selecionado ofereça uma versão *demo*.

a) b) c) d) e)

5) É importante que o fornecedor do software selecionado ofereça treinamento especializado para iniciante, intermediário e avançado.*

a) b) c) d) e)

6) É importante que o fornecedor do software selecionado ofereça atualizações que permitam a conversão de arquivos (versões anteriores) sem custos adicionais e com apoio técnico.

a) b) c) d) e)

7) Em relação ao grupo de critério **Suporte técnico** (questões de 1 a 6), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)

Custos

1) O critério custo de Aquisição é importante na escolha do software?

a) b) c) d) e)

2) O critério custo de Instalação é importante na escolha do software?

a) b) c) d) e)

3) O critério custo de Treinamento é importante na escolha do software?

a) b) c) d) e)

4) O critério custo de Customizações é importante na escolha do software?

a) b) c) d) e)

5) O critério custo de Suporte técnico é importante na escolha do software?

a) b) c) d) e)

6) Em relação ao grupo de critério **Custos** (questões de 1 a 5), qual seria a sua importância.

a) b) c) d) e)