

ESTUDO DA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ARENA EM UM CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO

Angélica Maria Batista Pessanha

Graduada em Engenharia de Produção/ISECENSA/RJ
pessanha@superig.com.br

Sérgio Murilo Daruis Rocha Filho

Graduado em Engenharia de Produção/ISECENSA/RJ
sergiodaruis@gmail.com

Nilo Américo Fonseca de Melo

Doutor em Ciências da Engenharia/UENF/RJ
melonilo@gmail.com

RESUMO

Diante das exigências de mercado, a cada dia que passa as empresas tem que focar em sua eficiência e na redução de custos, objetivando ter uma margem favorável entre receita e despesa de forma a se tornar competitiva e se manter no mercado. Nesse contexto, a “Pesquisa Operacional” vem fornecendo importantes fatos subsídios de apoio a tomada de decisão. Esta área difundiu-se e criou inúmeras subáreas, dentre elas a de modelagem que posteriormente gerou a simulação. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é validar a premissa de que a simulação também é importante neste contexto através da investigação da aplicabilidade de um software de simulação, o Arena da Rockwell Software, na execução de serviços de um contrato de manutenção de instrumentação de uma empresa prestadora de serviços onshore e offshore. Neste trabalho, as fases de um estudo de simulação foram utilizados e encontrou-se indicativos de sobrecarga (gargalos) e, também, na substituição de recursos que viabilizaram a criação de cenários hipotéticos que contribuíram para a validação da hipótese de que a simulação é uma importante ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão. Conclui-se que apesar da utilidade dos indicadores, os subsídios fornecidos pela simulação precisam ser investigados sobre outros aspectos, sendo importante levar em consideração se a empresa suporta um aumento de recursos sobre o prisma do arranjo físico e também da viabilidade econômica e financeira de tais mudanças.

Palavras-chaves: Arena; Pesquisa operacional; Simulação; Gargalos.

ABSTRACT

Faced with the demands of the market, every day companies have to focus on efficiency and cost reduction, aiming to have a favorable margin between revenue and expenditure in order to become competitive and stay on the market. In this context, “Operational Research” has provided important insights to support decision making. This area has spread and created numerous subareas, including the modeling that subsequently led to the simulation. Thus, the objective of this study is to validate the premise that simulation is also important in this context by investigating the applicability of simulation software, Arena of the Rockwell Software, at the service execution of a contract for maintenance of an instrumentation company providing services onshore and offshore. In this case study, the phases of a simulation study were used and found indications of overload (bottlenecks) and also underuse of resources that enabled the creation of hypothetical scenarios that contributed to the validation of the hypothesis that the simulation is an important tool to aid in the process of decision making. It was concluded that despite the usefulness of indicators, the subsidies provided by the simulation need to be investigated on other aspects, it is important to consider whether the company supports an increase in resources over the prism of the physical arrangement and also the economic and financial feasibility of such changes.

Keywords: arena; operational research; simulation; bottlenecks.

1. INTRODUÇÃO

O processo decisório de uma empresa, geralmente, envolve a análise de variáveis e problemáticas que podem afetar desde os recursos até o produto final da organização. Segundo Rubin (1999 apud Andrade, 2004), um bom processo de decisões é a chave para se obterem bons resultados.

Hammond; Keeney; Raiffa (2001) ressaltam que tomar decisões é o trabalho mais importante de qualquer executivo. É também o mais arriscado, pois decisões mal tomadas podem arruinar um negócio e uma carreira, algumas vezes de modo irreversível. Dessa forma, uma escolha errada pode acarretar grandes perdas financeiras, comprometer a imagem da empresa perante seus clientes/fornecedores, gerar desperdícios e retrabalho.

Neste contexto, pode-se perceber a importância de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões. Segundo Silva (1998), a Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões que, em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através de experimentação e simulação com o mesmo, descobrir a melhor maneira de operar um dado sistema.

Um conceito de simulação bem aceito atualmente diz que “simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital” (PRADO, 2004, p.24).

Dessa forma, simular um problema ou os aspectos de um processo, objetivando a tomada de decisão ou ainda a melhoria contínua vem crescendo substancialmente nos últimos anos. De acordo com Axelrod (2003) a simulação é um processo novo e um campo da ciência que começou a crescer rapidamente nos últimos 15 anos.

Assim, “com o propósito de aumentar a competitividade, reduzir os custos e melhorar a qualidade dos produtos e serviços, ferramentas de simulação foram desenvolvidas para estudar o impacto das mudanças” (MONTEVECHI; DUARTE; NILSSON, 2003, p.15).

A simulação é usada em situações em que é muito caro ou difícil o experimento da situação real. Ela nos permite fazer esse experimento com o modelo variando parâmetros críticos, para conhecer quais as combinações que dão os melhores resultados. Desta forma podemos analisar o efeito de mudanças sem correr o risco da construção de um sistema real equivocado, o que transformaria os custos dessa construção em prejuízo. (SILVA, 1998, p.144).

Pode-se ressaltar que dentro da realidade de mercado atual, “invariavelmente o cliente não permite erros, atrasos ou desculpas”. Há, ainda, uma alta exigência no que diz respeito à qualidade e sobra pouco espaço para tentativas não testadas. “Obviamente, com a tecnologia disponível, a um custo bastante razoável, não se justifica correr este tipo de risco, principalmente em operações de grande porte, a exemplo de simuladores de voo, por que não simuladores operacionais...” (MENCHIK, 2006).

Ainda neste âmbito, pode-se dizer que para otimizar recursos faz-se necessário manter um ótimo sistema de gerenciamento para que o corpo técnico, responsável por estes, tenha subsídios para tomar decisões acerca da produção.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral investigar a aplicação do software de simulação Arena 7.0, da *Rockwell Softwares*, no setor de manutenção de equipamentos de instrumentação de uma empresa prestadora de serviços ON-SHORE e OFF-SHORE.

A simulação será feita em um contrato específico de manutenção de equipamentos de instrumentação, na execução de serviços, de um dos clientes da empresa, objetivando analisar se os recursos da empresa estão sendo bem utilizados. A partir dessa análise, cenários hipotéticos serão criados e estudados através do Arena.

As etapas do trabalho a serem realizadas para que o objetivo geral seja alcançado são definidas pelos objetivos específicos que compreendem:

- a) coleta de dados;
- b) montagem do modelo lógico-matemático;
- c) simular, através do Arena, todo o processo de execução de serviços referentes a manutenção de equipamentos de instrumentação do referido contrato;
- d) analisar o tempo de duração do processo produtivo;
- e) analisar a taxa de ocupação tanto dos colaboradores envolvidos no processo quanto dos equipamentos;
- f) identificar a existência de gargalos;
- g) criar e analisar cenários hipotéticos no Arena.

Assim, pode-se dizer que a problemática desta pesquisa gira em torno da eficiência do uso de técnicas de Pesquisa Operacional, com enfoque em simulação, para auxílio no processo decisório em situações do mundo real. A hipótese, neste caso, consiste em que ao empregar essas técnicas, as informações obtidas realmente auxiliam o gestor na tomada de decisão.

2. PESQUISA OPERACIONAL

A expressão Pesquisa Operacional foi utilizada pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes de pesquisadores procuravam desenvolver métodos para resolver determinados problemas de operações militares. O sucesso das aplicações desta área levou o mundo acadêmico e

empresarial a procurar utilizar as técnicas, então criadas, em problemas de administração (ANDRADE, 2004).

A partir deste período, a pesquisa operacional se difundiu, saindo da área militar e indo para a área civil, sendo hoje um ramo da ciência administrativa. Este avanço deve-se, em grande parte, ao desenvolvimento dos computadores, que “vem tornando cálculos e manipulação de dados cada vez mais velozes. A chegada dos computadores pessoais ajudou ainda mais a difusão de técnicas de pesquisa operacional” (PINTO, 2002).

Dentre as áreas da Pesquisa Operacional, técnicas como a modelagem e a simulação têm encontrado crescente receptividade, tanto no meio acadêmico como no empresarial.

A Pesquisa Operacional, conforme utilizada pelos gerentes e praticantes, tem dois enfoques: o clássico (ou tradicional) e o atual. O enfoque clássico é proveniente do conceito quantitativo de Pesquisa Operacional que usa modelos matemáticos e estatísticos visando à obtenção de uma solução ótima enquanto o enfoque atual deriva de um conceito qualitativo da área que busca uma compreensão mais profunda do problema a fim de identificar os pontos que precisam de intervenção (ANDRADE, 2004).

Assim, a Pesquisa Operacional fornece ferramentas para auxiliar os métodos de abordagem dos problemas enfrentados pelos administradores, propondo um método analítico para analisar o problema e encontrar soluções, objetivando minimizar o impacto destes na organização como um todo.

Pode-se perceber que a modelagem de sistemas é fundamental por representar o sistema em estudo, sendo que esse sistema pode ser um projeto já existente ou um protótipo ainda não implementado. No primeiro caso, o modelo pretende reproduzir o funcionamento do sistema, de modo a aumentar a sua produtividade. No segundo caso, o modelo é utilizado para definir a estrutura ideal do sistema (LISBOA, 2002).

3. SIMULAÇÃO

A crescente competitividade existente entre empresas, na era atual, exige que as mesmas modifiquem a sua prestação de serviços e o seu portfólio de produtos. Entretanto, sem uma visão do impacto que uma mudança poderia causar, estas empresas ficariam expostas a altos riscos de dano ao seu patrimônio e imagem. É nesse âmbito que as simulações podem ser empregadas: como auxílio ao processo decisório, baseado em um cenário extraído do mundo real, onde as possíveis alternativas são consideradas como variáveis em um modelo matemático que expressa o cenário analisado.

Assim, pode-se entender a simulação como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, buscando descrever o comportamento do sistema além de construir teorias e hipóteses que consideram as observações efetuadas. Outro fator é que ela utiliza modelos para analisar comportamentos do presente, ou ainda, para prever os possíveis comportamentos futuros, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação. Conceitua-se sistema, como uma coleção de itens entre os quais pode-se encontrar ou definir alguma relação, que são objeto de estudo na construção do modelo (PARAGON, 2008).

Para entender e analisar um sistema, alguns termos precisam ser definidos, entre eles, o conceito de entidade que se refere a um objeto de interesse no sistema, cujas propriedades são chamadas de atributos. O próximo conceito representa um período de tempo de certo tamanho que recebeu o nome de atividade.

O estado de um sistema é definido como sendo a coleção de variáveis necessárias para descrever o sistema em um dado instante. Daí uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema é definida como evento.

As abordagens feitas deste ponto em diante estarão embasadas de acordo com Paragon (2008) que diz que os valores globais do sistema, visíveis a qualquer momento e em qualquer ponto do modelo são chamados de variáveis e estas definem o estado do sistema como um todo e não as características individuais de cada entidade.

Já os recursos são objetos que são utilizados pelas entidades, ou seja, representam a estrutura do sistema podendo ser máquinas, postos de trabalho, meio de transporte, pessoas, etc. que participam do processo. O conceito de processos consiste nas ações realizadas sobre as entidades ao longo da simulação.

O sistema pode gerar filas que são definidas como os acúmulos de entidades acarretadas por alguma limitação na capacidade do recurso.

Um ponto importante é que a simulação reflete a dinâmica do sistema, ela não é um modelo matemático estático onde o resultado é gerado apenas por fórmulas matemáticas e mesmo assim contém componentes que podem ser estáticos ou dinâmicos. Dessa forma, componentes que se movem no sistema são considerados dinâmicos, tais como as entidades que recebem serviços à medida que vão percorrendo as etapas do processo.

Todos os outros componentes são estáticos, pois eles prestam serviços às entidades, sem, no entanto, se moverem no sistema. Assim os recursos e as estações de trabalho podem ser citados como um exemplo de componentes estáticos.

As ferramentas utilizadas em simulação também dispõem de indicadores que fornecem subsídios para que decisões possam ser tomadas. Cruz *et al* (2002) destaca alguns indicadores, entre eles, a taxa de ocupação que é o percentual do tempo simulado que um determinado servidor está sendo utilizado. Sendo que servidor, neste âmbito, refere-se aos elementos que executaram uma atividade.

Outro indicador é o tempo médio de entidades em uma fila que expressa a quantidade de elementos que ficou em uma fila ao longo da duração da simulação. Já o tempo médio em uma fila é o tempo médio gasto em uma fila ao longo de todo o período simulado. Prado (2004) ainda comenta sobre a utilidade de indicadores que retratam o tamanho máximo e também o mínimo de uma fila, além do tempo máximo e mínimo que a entidade permaneceu na fila. Assim evita-se tirar conclusões baseadas apenas na intuição e pode-se avaliar a eficiência do sistema.

3.1. Ferramenta de simulação Arena

Existem diversas ferramentas de simulação que podem ser utilizadas no processo de confecção do modelo, o presente estudo adotará o programa Arena da *Rockwell Softwares* por ser bem conceituado e também pela disponibilidade de uso do mesmo pelos pesquisadores da versão 7.0.

No Brasil o software Arena é representado pela Paragon Tecnologia Ltda e na visão da empresa, o programa é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Tendo sido “considerado por renomados especialistas como o mais inovador software de simulação, por unir os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado”.

No enfoque de Prado (2004), cada software de simulação possui uma característica básica que o diferencia dos outros. O termo usado para essa característica é “visão do mundo” e significa a forma com que o software foi concebido, ou como ele vê um sistema a ser simulado. Devido a este fato, a maneira como os dados serão fornecidos a cada software é diferente dos outros e os relatórios gerados também têm características peculiares, além de conter indicadores.

O Arena possui diversas ferramentas e extensas funcionalidades que sendo utilizadas corretamente fornecem subsídios para uma análise criteriosa e eficiente capaz de viabilizar um maior entendimento do sistema em estudo. O próximo tópico irá de forma resumida avaliar as principais vantagens e desvantagens de se utilizar a simulação.

3.2. Vantagens e desvantagens da simulação

Como a maior parte das ferramentas, a simulação apresenta aspectos positivos, negativos e limitadores. As considerações a seguir estão baseadas na visão dos autores Lustosa, Ponte e Dominas (2004), Santos (1999) e Miyagi (2006).

Nas simulações é possível estudar novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação e etc., sem haver alteração no mundo real. Na prática, isso é de grande valia, pois fornece uma importante ferramenta gerencial para determinar em que direção as alterações serão tomadas, e como estas serão gerenciadas, podendo haver planos de ação para corrigir ou inibir resultados indesejados. Outra vantagem importante diz respeito a poder testar novos equipamentos, layouts, sistemas de transporte e etc., sem comprometer recursos em sua aquisição. Dessa forma, os gestores podem tomar decisões de investimento de forma consciente, avaliando se os itens descritos se adaptarão ao seu processo produtivo, e analisando sua viabilidade econômica para a empresa.

Como nas simulações o tempo pode ser comprimido ou expandido, é possível prever os impactos que serão causados a curto, médio e longo prazo. Ele também pode ajudar a compreender como um sistema opera como um todo, em relação a como se pensa que o sistema opera individualmente.

Cenários hipotéticos do tipo “e se...” podem ser respondidos. Isto é de grande valia na fase de design de um projeto, uma vez que auxilia o gestor a identificar quais são as melhores linhas de ação a serem adotadas, como também a resolver problemas que possam aparecer durante essa e outras fases.

“Geralmente, os sistemas com variáveis aleatórias só podem ser investigados com o emprego da simulação, pois, por serem complexos, torna-se inviável a solução analítica das equações matemáticas que os descrevem” (LUSTOSA; PONTE e DOMINAS, 2004). Por fim, pontos de estrangulamento onde as informações ou materiais têm seus fluxos comprometidos podem ser identificados.

Embora apresente todas estas vantagens, a construção de modelos requer um treinamento especial, e, devido à sua complexidade de construção, seu domínio é adquirido somente com tempo e experiência. Além disso, bons modelos de simulação podem ser caros, por exigirem longo e complicado processo de desenvolvimento. Outro fator a ser considerado é que as saídas da simulação podem ser difíceis de se interpretar, uma vez que elas podem incluir variáveis aleatórias onde não é trivial determinar se os resultados observados são resultantes de inter-relações efetivas das partes do sistema ou se são fruto da aleatoriedade do sistema.

Uma característica da simulação que é vista como uma grande desvantagem diz respeito ao fato dela não otimizar e não fornecer respostas aos questionamentos. Mas analisando por outro ângulo, ela fornece indicativos de onde intervir e faz com que os gestores analisem o problema de uma forma imparcial sem favoritismos quanto aos setores envolvidos na análise e também pode mostrar ociosidades do sistema e pontos de estrangulamentos que não haviam sido observados.

Miyagi (2006) ressalta que, para compensar estas desvantagens, fornecedores de software de simulação têm desenvolvido modelos pré-concebidos, para facilitar a aderência a este processo. Outros pacotes facilitam a análise dos dados de saída, e o avanço das plataformas computacionais estão diminuindo o tempo gasto no processo.

3.3. Áreas de aplicação e estudos de caso

A simulação pode ser aplicada em inúmeras áreas e diversas empresas dos mais variados ramos estão utilizando essa técnica em seus processos produtivos. Hillier e Lieberman (2010) explicitam que a simulação é uma técnica extremamente versátil que pode ser utilizada para investigar praticamente qualquer tipo de sistema estocástico. Assim é comum aplicar esta ferramenta para estudo de sistemas de filas complexos, administração de sistemas de estoque, estimativas da probabilidade de completar um projeto dentro do prazo, projeto e operação de sistemas de manufatura ou distribuição e análise de risco financeiro.

Além dessas aplicações, os autores exaltam a área da saúde como propícia a desenvolver esta técnica com uma abordagem diferenciada envolvendo a evolução de doenças no ser humano, por exemplo. Outras áreas de serviços, tais como, serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, forças armadas, centros de entretenimento, entre outros, também são adequadas para o seu uso. Na maioria das vezes, os sistemas abordados pela simulação são, na verdade, sistemas de algum tipo de fila.

Miyagi (2006) identifica áreas de aplicação através dos trabalhos apresentados em eventos técnico-científicos ressaltando sistemas que envolvem recursos naturais (atividades de restauração do meio ambiente, gerenciamento de sistemas de coleta de lixo, etc.), sistemas de construção civil (processo de montagem de pontes suspensas, por exemplo), processamento de alimentos, sistemas computacionais, entre outros.

Essa variedade de aplicações tem levado ao desenvolvimento de diversos artigos, monografias, teses e etc. no meio acadêmico, entre eles, encontra-se um trabalho que utilizou duas ferramentas de simulação: o *Arena 5.0* e *ProModel 4.22* da ProModel Corporation para simular um sistema de biblioteca e um sistema de um restaurante universitário. Ao fim do trabalho, Sakurada e Miyake (2009) concluíram que precisa haver

uma evolução tanto da tecnologia de simulação quanto dos softwares de simulação em si até que estes incorporem a capacidade de representar uma gama mais completa de elementos e relações envolvidos em processos de serviço, que não são presentes em aplicações convencionais da simulação no âmbito dos sistemas de manufatura.

Já Montevechi, Duarte e Nilsson (2003) focaram o uso da simulação através do *ProModel* para análise do layout de uma célula de manufatura. Foi feita uma comparação da melhoria de uma célula de manufatura real tanto pela maneira tradicional quanto pelo uso da simulação onde chegou-se a conclusão de que é viável utilizar a simulação como base para decisões estratégicas nesta área com um mínimo de transtornos, já que as situações são estudadas virtualmente.

Para finalizar, Penteadó (2008) relatou um caso de sucesso da empresa Vale do Rio Doce que adotou um sistema de simulação de capacidade no terminal portuário de Ponta da Madeira no Maranhão. O objetivo era fazer uma análise de viabilidade dos investimentos no referido terminal para a empresa e deixar de tomar decisões baseadas apenas na sensibilidade dos colaboradores mais experientes e sem tomar conhecimento de gargalos embutidos no processo. A ferramenta adotada mostrou sua eficácia e entre as vantagens obtidas pela companhia pode-se citar redução nos custos e agilidade operacional.

É possível perceber como as ferramentas de simulação estão sendo objetos de estudo através dos exemplos citados e também que a sua utilização por empresas de grande porte também é viável.

A aplicação em diversas áreas vem instigando cada vez mais os pesquisadores a testar a ferramenta, assim como o seu uso pelas empresas a fim de simularem diversos cenários que forneçam subsídios que minimizem os riscos de tomadas de decisões prejudiciais a organização.

4. ESTRATÉGICAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA

A metodologia pode ser entendida como o estudo sistemático e lógico dos princípios, ou seja, o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para se fazer a pesquisa científica, que irão dirigi-la desde as suposições básicas até as técnicas de indagação. De acordo com Teixeira (2005), a harmonização e a integração balanceada de vários elementos, tais como os instrumentos (métodos e técnicas), os objetos (materiais) e as referências teóricas irão definir a metodologia de pesquisa.

Os objetivos deste trabalho não poderão ser alcançados de forma satisfatória, se as execuções das ações não forem planejadas e desenvolvidas, de acordo, com “uma metodologia científica que responda o como fazer, de forma consistente com os cenários da pesquisa, os recursos disponíveis para sua execução e a finalidade ou aplicação esperada dos resultados.” (TEIXEIRA, 2005).

Devido a sua importância, os próximos tópicos irão abordar, separadamente, a classificação da pesquisa e procedimentos metodológicos.

4.1. Classificação da pesquisa

Este trabalho pode ser classificado de diversas formas, mediante alguns critérios, porém só serão abordadas as classificações mais usuais que são adotadas pelos autores da área.

Sendo assim, do ponto de vista de sua natureza é uma Pesquisa Aplicada, “pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos”. A abordagem do ponto

de vista do problema é uma Pesquisa Quantitativa, “considerando que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las.” (SILVA e MENEZES, 2001, p.20).

Com base em seus objetivos gerais é Exploratória, pois objetiva “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.” Por último, com base nos procedimentos técnicos utilizados, é um Estudo de Caso, pois “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.”. Dentro desta classificação, esta pesquisa também pode ser classificada como bibliográfica e documental. Essas duas classificações são similares tendo como diferença a natureza de suas fontes. Assim “enquanto a pesquisa bibliográfica utiliza as considerações de diversos autores sobre um determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam um tratamento analítico, ou ainda podem ser elaborados de acordo com os objetivos da pesquisa” (GIL, 2008, p.41 e 54).

4.2. Caracterização da empresa estudada

A empresa estudada é brasileira, de prestação de serviço *onshore* e *offshore*, especializada em engenharia e fornecedora de soluções aos seus clientes, com o objetivo inicial de atender as demandas do setor industrial da região Norte-Fluminense. Entretanto, um espírito empreendedor a impulsionou a investimentos fundamentados e direcionados a novos mercados.

Dessa forma, ela oferece serviços de montagem, manutenção em equipamentos elétricos, mecânicos e sistemas de instrumentação em plataformas de exploração e produção de petróleo e outras indústrias de energia e da construção civil. Também realiza o planejamento, supervisão e execução de projetos industriais, a calibração de diversos equipamentos eletrônicos e pneumáticos, dentre outras atividades.

Atualmente é uma empresa de médio porte, cuja sede está localizada em Macaé/RJ, consolidada e reconhecida no mercado nacional, o que é resultado da experiência, dedicação e capacitação de seus colaboradores. Além da busca incessante pela qualidade de seus produtos e serviços através de um trabalho sério, comprometido e baseado em princípios éticos e legais.

Atendendo a solicitação da empresa, o nome da mesma não será mencionado e será referenciado, quando necessário, como empresa X.

4.3. Delimitações da pesquisa

A pesquisa foi aplicada em apenas um dos contratos da empresa: Contrato de execução de Serviços de Manutenção de Instrumentação Pneumática, Eletrônica e Hidráulica, na execução de serviços.

A amostra do presente estudo restringiu-se a dados referentes a 93 equipamentos que foram atendidos pela empresa no período de um mês, envolvendo apenas a participação da gerência e dos supervisores dos setores onde o estudo foi aplicado. Dessa forma, os dados necessários foram coletados juntamente ao Diretor, Gerente de Contrato, Supervisores de Mecânica, Instrumentação e Elétrica.

4.4. Procedimento metodológico

Para que a realização do estudo transcorresse de forma estruturada e organizada, constatou-se que uma seqüência de etapas deveria ser seguida. Assim adotaram-se as fases para realização de uma simulação propostas por Andrade (2004), que consiste em:

- a) formulação do problema e coleta de dados;
- b) identificação das variáveis e das condições do sistema;
- c) construção do modelo;
- d) validação do modelo com dados históricos;
- e) realização dos experimentos e análise estatística dos resultados.

A seguir será detalhada, separadamente, cada fase do processo metodológico.

a) Formulação do problema e coleta de dados

Nesta etapa foram definidos os objetivos da simulação e também a delimitação das áreas da empresa que seriam abordadas.

Para que isso fosse possível, primeiramente foi necessário obter o aval, por parte da empresa, para a realização do estudo de caso no processo de prestação de serviço da mesma.

Assim que a empresa mostrou-se favorável, foi feita uma visita a sua sede, onde o gerente operacional explicou todo o processo de manutenção, desde a chegada dos equipamentos até a saída.

Devido ao fato da empresa possuir um contrato de manutenção com um determinado cliente, que segundo o gerente operacional, impacta boa parte de seus recursos, decidiu-se aplicar as técnicas de simulação apenas neste contrato na parte de execução de serviços.

Na definição do problema, levou-se em conta que na visão da empresa, a sua mão-de-obra parece estar subutilizada ou então não está sendo eficiente enquanto os seus colaboradores afirmam o contrário, que estão sobrecarregados. Além disso, atualmente a empresa trabalha sempre com estoque, ou seja, trabalha com atrasos.

Sabe-se que esta situação contraria a tendência do *Just in time*, que é a política mais correta de atuação, devido ao fato de não gerar estoque e potencializar a taxa de utilização dos recursos da empresa.

Assim, o problema em questão é avaliar se os recursos da empresa estão sendo bem utilizados, identificando gargalos e verificar se o Arena pode fornecer subsídios que auxiliem os gestores no processo de tomada de decisão.

Definido o problema, partiu-se para o levantamento e posterior coleta de dados relevantes para o processo em estudo. Nesta etapa, o principal dado coletado foi o fluxograma operacional (FIGURA 1) do contrato. Aqui é necessário fazer um breve resumo do funcionamento operacional do mesmo, pois ele foi utilizado para a montagem do modelo lógico no software.

Para que as etapas ilustradas no fluxograma sejam identificadas no texto que se segue, elas foram sublinhadas à medida que foram sendo citadas.

Quando o equipamento chega à empresa, ele é recebido por um funcionário que tem a responsabilidade de fazer a conferência da nota fiscal que vem acompanhando o equipamento. Neste ponto é interessante ressaltar que anexado ao equipamento está a nota de manutenção (NM) que é um número gerado pelo cliente e também utilizado pela empresa para identificar o equipamento durante todo o processo.

Ainda nesta fase, precisa-se da presença de um técnico para fazer uma avaliação rápida do equipamento, a fim de identificar se o mesmo necessita da manutenção de vários setores. Em caso afirmativo, e se suas peças puderem ser removidas, elas serão desmembradas e tratadas separadamente por seus setores correspondentes (mecânica, instrumentação ou elétrica). Caso contrário, será feito um planejamento pelos supervisores das áreas envolvidas para que o equipamento esteja pronto dentro da data limite de entrega.

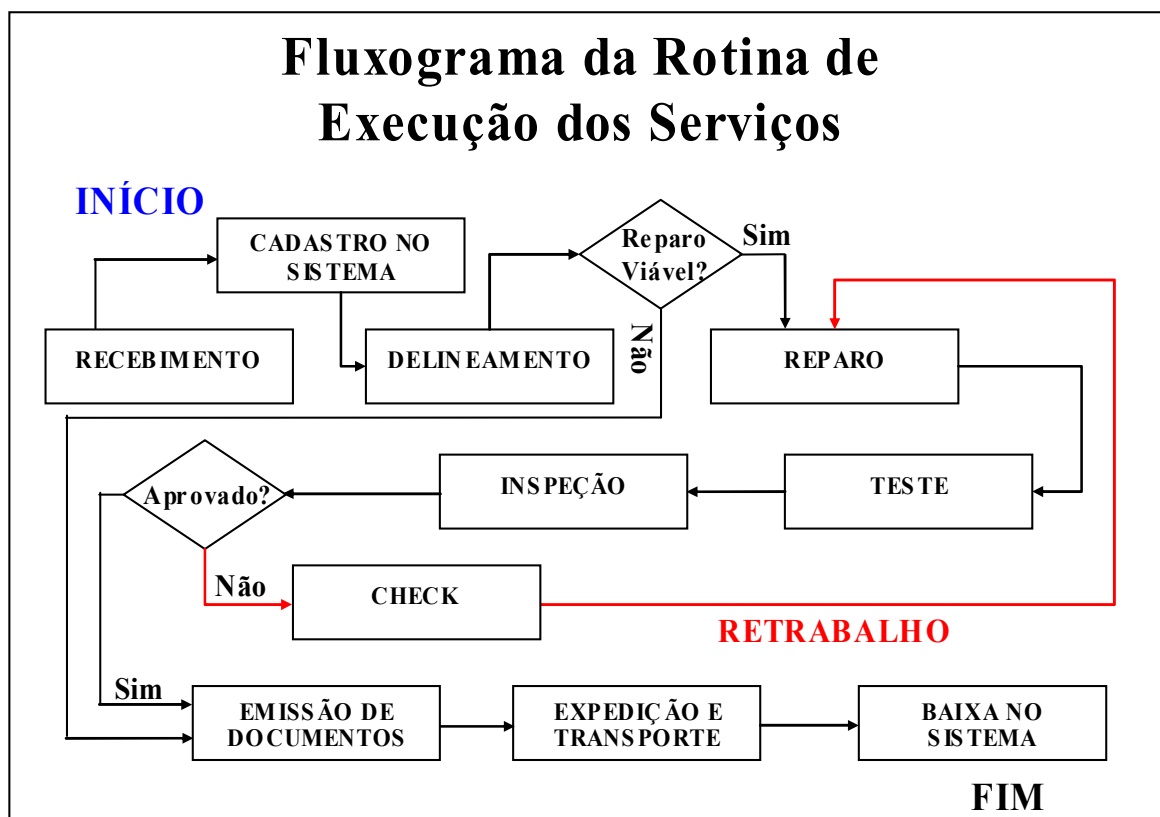


Figura 1: Fluxograma da rotina de execução dos serviços

Fonte: Empresa X

O funcionário providencia o registro e emissão de um relatório apropriado, cuja cópia é encaminhada para o supervisor do contrato, para seu conhecimento e análise, devendo posteriormente ser enviada ao cliente.

A próxima fase do processo é o cadastro no sistema que consiste na entrada do equipamento no sistema, envolvendo entre outras coisas, informações sobre a ordem de serviço, número da NM, data de entrada, data de saída, setor responsável, etc.

Aqui é relevante comentar que todo processo que envolve a manutenção dos instrumentos do contrato é monitorado por planilhas, as quais são preenchidas a cada fase do processo de manutenção. Ou ainda sempre que for necessário, com a finalidade de se controlar, monitorar e registrar todas as fases que envolvem o processo, identificando possíveis anomalias. Dessa forma, a empresa vai construindo um histórico que poderá ser útil para eventuais consultas e decisões futuras.

O próximo passo é o delineamento, um processo que se subdivide em fases que consistem em:

- a) limpeza geral do equipamento;
- b) desmontagem e identificação do equipamento através da afixação do número da NM na peça. Caso seja necessário dividir o equipamento em partes, cada uma delas também será identificada pelo mesmo número de NM;
- c) medições e observações inerentes à identificação dos defeitos do equipamento, listando todas as operações e materiais necessários para devolver ao mesmo suas características originais de funcionamento;
- d) preenchimento do Relatório de Delineamento contendo a descrição de todas as ações do delineamento, conclusões e sugestões técnicas;
- e) inspeção do relatório e atualização de informações nas planilhas;
- f) encaminhamento de cópia do relatório ao setor de fiscalização do cliente para análise e autorização para execução dos serviços.

Assim, a empresa fica aguardando a decisão do cliente que geralmente é favorável ao reparo. Caso não seja, a próxima etapa seria a emissão de documentos que será explicada posteriormente.

Supondo que o cliente autorizou a manutenção do equipamento, este segue para a etapa de reparo. Caso o equipamento tenha sido dividido em peças, cada uma seguirá para um setor específico.

A fase de reparo consiste em um conjunto de operações que devem ser executadas para devolver as características originais ao equipamento. Dessa forma, nesta etapa podem ser feitos ajustes, calibrações, montagens e desmontagens, medições, usinagens, troca de peças, limpeza, pintura, lubrificação e etc.

Após o término do reparo, o equipamento seguirá para a fase de testes, onde uma bateria de procedimentos será executada, buscando-se garantir a funcionalidade do equipamento.

Assim que os testes são concluídos, o supervisor do setor realiza uma inspeção, objetivando garantir a confiabilidade da manutenção e redução das chances de ocorrer um retrabalho.

Caso o equipamento tenha sido subdividido em partes, pode acontecer de nem todas ficarem prontas ao mesmo tempo. Neste caso, as peças que forem ficando prontas ficam em estoque aguardando as demais. No fim, é feita a junção das mesmas para constituir o equipamento em sua totalidade.

Se o equipamento não for aprovado no processo de inspeção ele passa para a etapa check, onde se procura relatar os motivos que levaram a não aprovação e encaminha-se o equipamento novamente para o processo de reparo.

Se o equipamento for aprovado no processo de inspeção ele passará para a fase de emissão de documentos que consiste em fornecer, ao final do trabalho de manutenção, documentos que comprovem a intervenção realizada no equipamento, tais como: relatório de manutenção e ou certificado de calibração ou testes (que contém basicamente a descrição do equipamento), anexo de cópia de todos os documentos pertinentes, histórico datado, comentado e documentado (inclusive fotograficamente) de todas as fases do processo de manutenção.

A penúltima etapa do processo é a de expedição e transporte. Primeiro, fixa-se no equipamento uma etiqueta metálica ou adesiva apropriada, resistente às intempéries e a manipulação, contendo basicamente: dados da Edcontrol, data do reparo, número de controle interno, telefone, nome do responsável, número da NM, entre outros.

A seguir, anexa-se toda a documentação do processo de manutenção do equipamento para que esta seja entregue juntamente com o mesmo. O equipamento deve ser acondicionado em embalagem apropriada de forma a não sofrer qualquer dano até a entrega ao cliente.

A última etapa é a baixa no sistema, que ocorre após a conclusão de todo o processo de manutenção do equipamento, onde são inseridos dados no sistema para concluir o processo de manutenção do referido equipamento.

Após o entendimento das rotinas de execução de serviços do contrato e das atividades inerentes ao processo, teve início a coleta de dados que foi feita através de uma pesquisa documental nos arquivos da empresa. Os referidos arquivos são planilhas que contem dados históricos dos equipamentos atendidos pela empresa durante a vigência do contrato.

b) Identificação das variáveis e das condições do sistema

Nesta etapa foram identificadas e definidas as variáveis relevantes para realização do estudo que foi viabilizado depois da elaboração de um escopo do processo. Desta forma foi possível constatar que a variável tempo seria imprescindível para que o problema fosse bem retratado, uma vez que ela define as relações entre os diversos processos.

Assim, as principais variáveis temporais são: tempo de execução, tempo de reparo externo, tempo de chegada do equipamento, tempo de saída do equipamento, intervalo de tempo entre as chegadas dos equipamentos, quantidade de horas diárias trabalhadas (colaboradores), entre outras.

Também foram criadas variáveis para os recursos disponíveis que englobam quantidade de: técnicos de cada setor, funcionários administrativos, computadores, máquinas para realização do serviço, supervisores, etc.

Nesta fase, foi constatada a necessidade de criar uma variável que explicitasse a porcentagem de equipamentos que seguem para reparo externo, os que ficam aguardando informações, aqueles que seguem para o processo de execução ou, ainda, tem o seu serviço cancelado pelo cliente.

Outro fator relevante é que o sistema possui restrições e as principais se resumem ao tempo efetivo trabalhado dos colaboradores, que foi estimado em 8,8 horas diárias, e também os recursos disponíveis, que são finitos.

Ao fim dessas considerações passou-se para fase seguinte.

c) Construção do modelo

As fases anteriores são primordiais para o processo de confecção do modelo lógico. Para que estas representassem bem o sistema, foi feita uma análise minuciosa do fluxograma da rotina de execução de serviços do contrato de forma a remodelá-lo de acordo com todas as características necessárias para que o software retratasse a realidade operacional do contrato.

Vale ressaltar que o estudo foi aplicado em três setores distintos da empresa, envolvidos neste contrato, os quais foram: Instrumentação, Mecânica e Elétrica. E que conforme citado anteriormente, os equipamentos podem ser desmembrados para serem atendidos pelos setores citados.

Os equipamentos foram divididos em simples e compostos, onde os simples correspondem aos que necessitam ser atendidos apenas por um setor da empresa, enquanto os compostos são desmembrados em duas ou três partes e cada uma delas segue para um setor específico. Depois de prontas, as partes vão sendo liberadas e é comum que elas não fiquem prontas ao mesmo tempo. Assim, as que ficarem prontas aguardam as demais para que quando todas tiverem sido tratadas seja possível fazer a junção do equipamento.

Por estes motivos, para que funcionamento do software fosse condizente com a realidade, foi necessário realizar adaptações em relação ao fluxograma original da empresa, pois este não retratava com clareza todas as anuências do processo.

Outro ponto que foi levado em consideração nesta etapa é que na amostra coletada para o estudo não havia equipamentos compostos que necessitassem passar pelos três setores nem equipamentos compostos que fossem tratados pelos setores de instrumentação e elétrica. Por esse motivo, tais hipóteses não foram levadas em consideração para a construção do modelo lógico.

A figura 2 ilustra o modelo geral do processo e para facilitar o entendimento encontra-se delimitado por etapas. Assim o primeiro bloco retrata as possíveis chegadas de equipamentos a empresa que podem ser simples ou compostas.

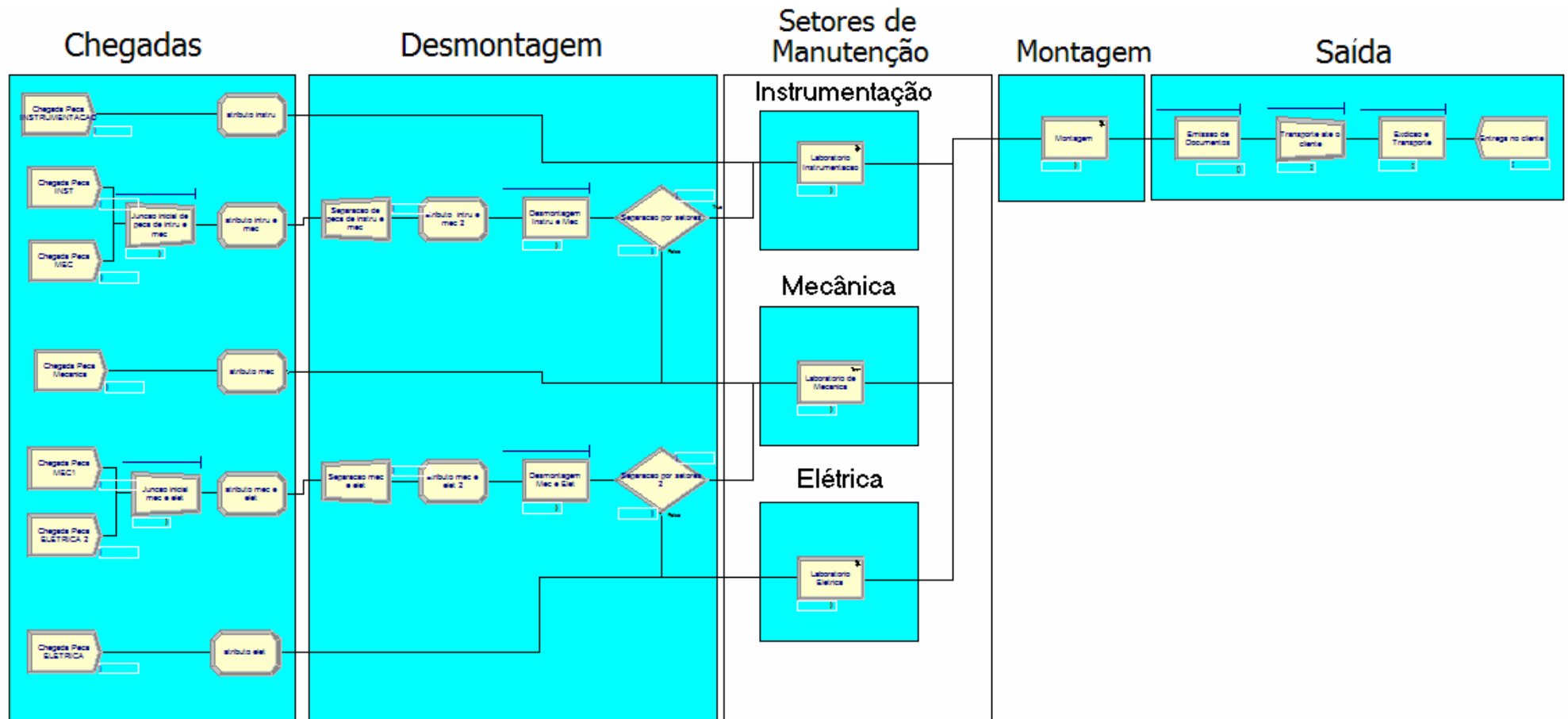


Figura 2: Modelo lógico geral

No caso dos equipamentos compostos foi necessário inserir no *layout* duas entradas, onde cada parte do equipamento já recebe o nome do setor que a atenderá e depois são unidas através de um *batch*. No próximo passo, o *assign* gera um atributo, aqui denominado Npeça, que associa um número base igual para as peças a fim de possibilitar a sua identificação ao longo do processo. Dessa forma cada conjunto de peças de um mesmo equipamento recebe o mesmo número de Npeça que os diferencia dos demais conjuntos de equipamentos do processo.

Nas chegadas dos equipamentos simples, preferiu-se tratar cada equipamento simples de cada setor de forma separada, o que gerou três entradas. Assim, nos três casos, o equipamento chega ao processo e passa por um *assign* que gera um atributo que identifica o equipamento como simples.

As chegadas de equipamentos ao modelo são controladas através de *schedules* individuais de 20 dias, onde cada entrada possui a programação de chegadas daqueles tipos de equipamentos ou peças baseado em dados coletados no período correspondente a uma medição de contrato, do dia 26 de um mês ao dia 25 do mês seguinte.

O segundo bloco retrata o tempo despendido na desmontagem dos equipamentos que só ocorrerá em partes pertencentes a equipamentos compostos onde o *separate* divide as peças em duas partes novamente e o *assign* gera outro atributo que irá identificar que as peças são compostas. Neste ponto, nota-se que as duas peças de um equipamento podem ser identificadas através de seus atributos.

Assim a função do *decide*, nesta parte do processo, é enviar cada peça para seu devido setor de manutenção que pode ser de elétrica, instrumentação ou mecânica. Com o intuito de facilitar o entendimento do modelo criado foram utilizados *sub-models*, ou seja, um processo dentro do outro. Dessa forma as figuras 3 e 4 representam processos que serão explicados a seguir.

Neste contexto, os setores de manutenção de equipamentos estão alocados em *sub-models* e devido ao fato do processo de prestação de serviço ser igual para os três setores, mudando apenas os tipos de recursos alocados, tempo de execução da atividade e etc. a figura 3 ilustra apenas um modelo individual do processo que é análogo para os demais.

Em linhas gerais, a figura 3 mostra que o equipamento é cadastrado no sistema com uma prioridade que vem definida pelo cliente, podendo ser classificada em alta, média ou baixa. Os reparos necessários também são anotados e depois os equipamentos são separados de acordo com o critério de prioridade.

Caso alguma dúvida técnica surja, a empresa pede informações ao cliente e fica aguardando a resposta. Caso contrário, o equipamento fica no aguardo da liberação do cliente para que a manutenção seja feita.

Neste ponto tem-se algumas situações possíveis, onde o cliente pode não ter autorizado a manutenção e neste caso o equipamento segue direto para a saída desse processo. O equipamento também pode precisar de algum tipo de reparo externo ou ter que ficar no aguardo da chegada de peças a empresa para dar prosseguimento ao processo.

Assim caso a empresa tenha os recursos necessários para realizar a manutenção do equipamento, esse seguirá para o processo de execução e depois passará pelo teste e inspeção. Caso o equipamento esteja

com suas funções restauradas ele segue para pintura e depois sai do *sub-model*, retornando para o modelo geral.

No entanto, se algum problema tiver sido identificado o equipamento segue para uma avaliação e retorna para a etapa de execução até estar em perfeitas condições de funcionamento.

Depois que os equipamentos e suas peças recebem o serviço de manutenção, elas seguem para o bloco de montagem de equipamentos (FIGURA 4) que também está alocado em um *sub-model*.

Os equipamentos compostos passam por um processo de junção de suas peças que foram tratadas por setores diferentes, utilizando os atributos que foram adquiridos na chegada como identificadores que garantem que os equipamentos só passam para a próxima fase depois de as peças “certas” estarem juntas. O processo de montagem está retratado por um *process*.

Tanto os equipamentos simples quanto os compostos passam por um setor de estoque onde ficam aguardando o momento em que passarão para a próxima fase. No término do processo de montagem, segue-se para o bloco de saída onde é feita a emissão de documentos, a expedição e o transporte, com baixa no sistema, e finalmente entrega ao cliente.

d) Validação do modelo com dados históricos

Para execução desta etapa os dados coletados na primeira fase foram essenciais, pois a configuração dos processos do Arena só foi viabilizado através de dados históricos provenientes de planilhas de acompanhamento dos serviços.

Outro ponto muito importante é que os supervisores de cada setor de manutenção (elétrica, mecânica e instrumentação) se comprometeram, ainda na primeira etapa, a listarem os recursos imprescindíveis para a realização do processo, fornecendo assim os dados das suas respectivas áreas de atuação.

Para alimentar o modelo lógico foi necessário fazer o tratamento e tabulação dos dados coletados, assim como configurar todas as etapas do layout, algumas através de expressões matemáticas e outras de cálculos de porcentagem.

Para encontrar a expressão matemática que retratasse uma determinada situação foi necessário utilizar o *Input Analyzer*, que é uma ferramenta do Arena utilizada para tratar os dados de entrada do modelo, de modo que esses sejam ajustados, através de funções de distribuição e probabilidade. Assim alimenta-se a ferramenta com dados numéricos e ela fornece uma expressão matemática que representa verdadeiramente a variação dos mesmos. Em outros casos, foi utilizado desvio padrão.

Então para validação dessa etapa foram utilizados dados referentes à: quantidade de equipamentos, recursos, horas diárias trabalhadas, tempo de execução realizado, porcentagem de equipamentos que foram cancelados ou para reparo externo ou ficaram aguardando informação ou foram pra execução e etc.

Um dado fornecido que chama a atenção é que um dos técnicos de instrumentação da empresa geralmente faz a entrega dos equipamentos, duas vezes por semana, ao cliente devido ao fato da empresa não

possuir um motorista para exercer tal função e dentre o corpo de colaboradores não existir outra pessoa qualificada.

Assim que o modelo está completamente alimentado, pode-se partir para a última etapa.

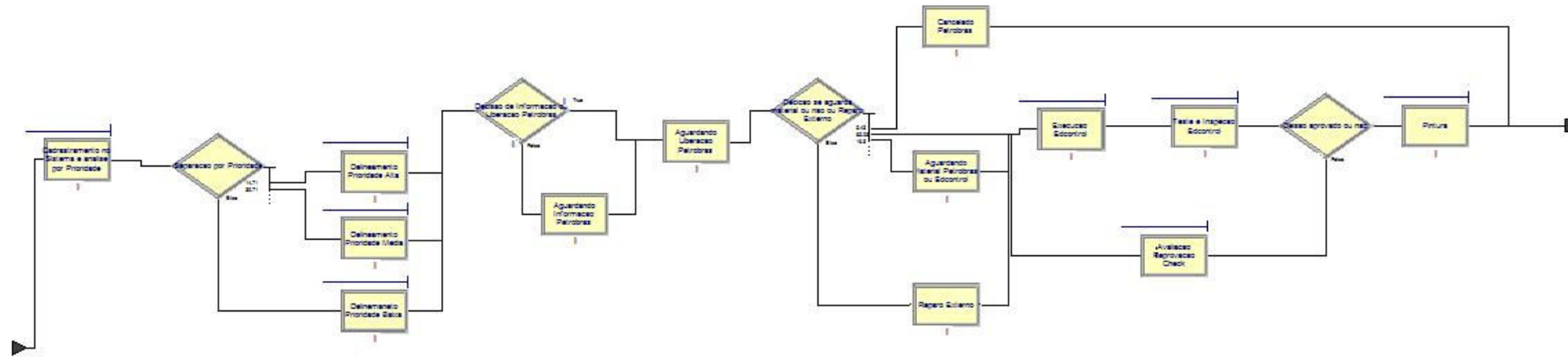


Figura 3: Modelo lógico de um setor de manutenção

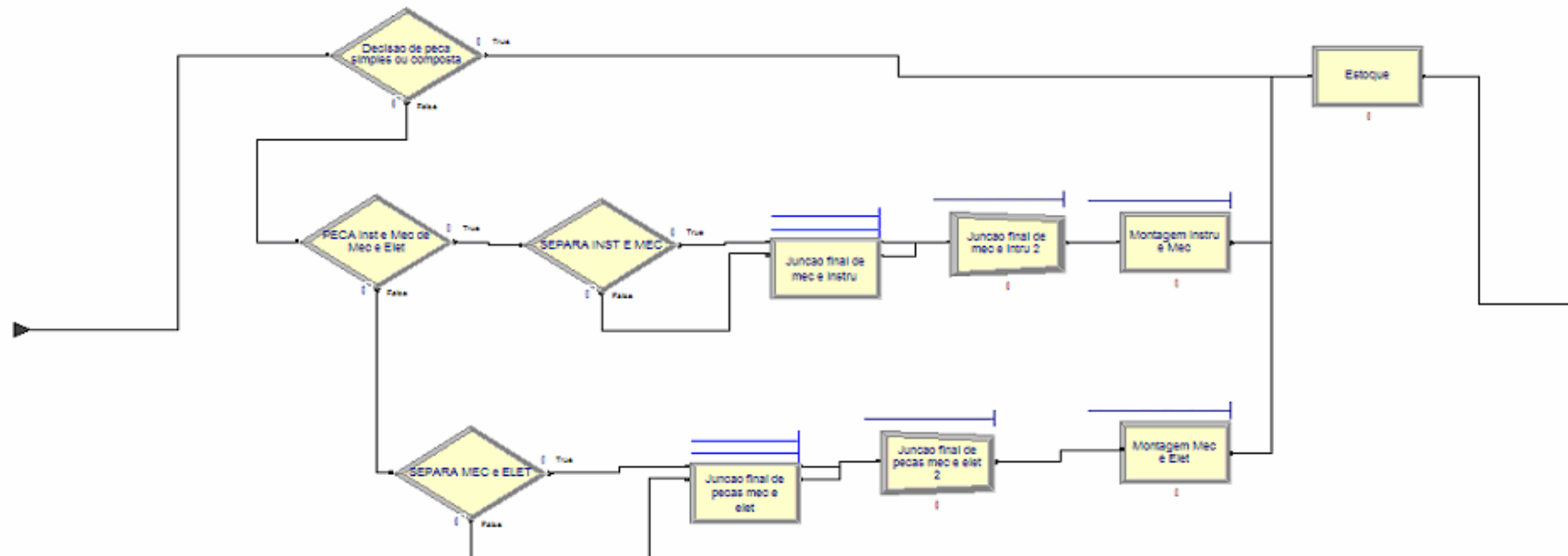


Figura 4: Modelo lógico de montagem de equipamentos

e) Realização dos experimentos e análise estatística dos resultados

Depois que o modelo encontra-se devidamente configurado, deve-se realizar os experimentos, que neste caso resume-se a executar o programa no Arena, afim de obter uma simulação do modelo.

Nesta etapa é comum ocorrerem erros de configuração, que são indicados pelo próprio Arena, que fazem com que o programa não opere. Assim, é suficiente analisar os erros e proceder às devidas modificações e ações corretivas.

Depois que estas ações são implementadas, deve-se fazer uma simulação final com emissão de relatório, a fim de analisar informações importantes que englobam a taxa de ocupação dos recursos, formação de filas, pontos de estrangulamento, etc. A partir deste ponto cenários são criados e simulados a fim de analisar os recursos que apresentam indicadores críticos. Esta etapa será melhor detalhada no próximo tópico.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Primeiramente, através da simulação com limite de tempo de 20 dias, verificou-se como determinados recursos se comportam diante do cenário real e constatou-se, através da análise dos relatórios gerados pelo Arena, que, com o quadro atual, dos 93 equipamentos que chegam ao sistema apenas 12 concluem o processo, o que é um indicador de que há uma sobrecarga. Esta situação é reforçada pelo surgimento de filas nos processos de execução, tanto de instrumentação quanto no de mecânica, e teste e inspeção de instrumentação. Além disso, os técnicos de instrumentação e mecânica encontram-se com uma taxa de utilização acima de 90%, e as caixas de ferramentas de instrumentação também apresentam uma taxa de utilização de 85%.

Vale ressaltar que o quadro atual da empresa é composto por basicamente 2 técnicos, 1 supervisor de cada setor de manutenção, 2 administrativos e 1 pintor. Cada técnico tem a sua caixa de ferramentas, dessa forma na simulação de cenários que será feita a seguir, toda vez que o número de técnicos aumentar, o número de caixa de ferramentas também será aumentado. Outro ponto diz respeito aos cenários, onde são mantidas as características descritas nos cenários anteriores, tecendo comentários apenas nos recursos que sofreram alterações.

Devido ao fato de constatar-se que o técnico de instrumentação estava sobrecarregado e fazia a entrega dos equipamentos ao cliente, simulou-se um primeiro cenário onde manteve-se o quadro atual da empresa e um motorista foi incluído no quadro para efetuar as entregas. As taxas de utilização continuaram elevadas, permaneceu a formação de filas, a utilização das caixas de ferramentas subiram para 90% e os equipamentos concluídos no processo permaneceram constantes.

No segundo cenário aumentou-se a quantidade de técnicos e de caixas de ferramentas de instrumentação para 3, observando-se um aumento de 6 unidades nos equipamentos entregues ao cliente. Mas, apesar disso, as taxas de utilizações dos técnicos de instrumentação e mecânica continuaram acima dos 90%, e ainda havia uma formação de fila significativa nos processos de execução, teste e pintura de instrumentação.

No terceiro cenário o quadro foi aumentado para 2 pintores e houve uma melhora significativa no número de equipamentos entregues, que subiu para 36. Porém, os indicadores que vinham sendo analisados

continuaram insatisfatórios, com formação de fila no teste e inspeção. Por conseguinte, no quarto cenário aumentou-se o número de técnicos e caixa de ferramentas de instrumentação para 4, técnicos de mecânica para 3 e supervisores de instrumentação para 2, o que gerou uma saída de 45 equipamentos. Houve uma diminuição significativa na utilização dos técnicos de mecânica, que ficaram abaixo dos 70%, embora persistindo a formação de filas no processo de pintura e execução de instrumentação.

No quinto e último cenário foi incrementado o número de técnicos de instrumentação para 5, o que elevou a saída de equipamentos do processo para 60, equilibrando a taxa de utilização dos recursos e também diminuindo significativamente o número de equipamentos nas filas dos processos.

6. CONCLUSÕES

É possível perceber que a ferramenta Arena, ao prover uma visão imparcial e detalhada do processo, através de seus relatórios e indicadores, forneceu dados importantes para analisar os processos críticos dentro da empresa estudada. No entanto, embora os resultados mostrem uma possibilidade de real melhoria no processo, foge ao objetivo deste trabalho solucionar todos os problemas da empresa, o que envolveria um estudo muito mais abrangente e acesso a outros tipos de dados, como outros serviços prestados pela mesma.

A partir dos dados observados, foi possível perceber pontos de estrangulamento (gargalos) que não foram notados anteriormente pelos tomadores de decisão, como no caso do técnico de instrumentação, que foi desviado da sua função para a entrega de equipamentos ao cliente, o que como visto na análise do cenário real contribuiu para incrementar o já saturado ponto de estrangulamento.

Entretanto, a partir da análise dos cenários observados, nota-se que uma mudança em áreas críticas gerou resultados mais eficientes. Cabe aqui ressaltar que a análise final não representa a solução ótima do problema, mas indica ao gestor de forma rápida quais são os pontos que necessitam de intervenção e a relação entre as diversas variáveis abordadas no processo.

Assim conclui-se que o objetivo geral deste estudo foi alcançado, ou seja, a ferramenta fornece subsídios aos gestores no processo de tomada de decisão de uma empresa prestadora de serviços de manutenção *onshore* e *offshore*. Fato este de suma importância para eles definirem suas ações, de forma que seja possível aprimorar os seus serviços e agregar valor para a empresa, através de uma análise flexível cuja complexidade varia de acordo com a criticidade do processo e da necessidade do gestor.

Pode-se dizer que a simulação, através da ferramenta Arena, forneceu subsídios para o processo de tomada de decisão, por intermédio da análise de seus relatórios, indicadores e criação de cenários. Entretanto, no caso em estudo, há a necessidade de avaliar a viabilidade do cenário encontrado sobre o prisma da análise econômica e financeira para a empresa e também verificar se o arranjo físico atual suporta um aumento de equipamentos e de colaboradores.

Dessa forma, a fim de fazer uma análise mais detalhada, fica sugerido como trabalho futuro: um estudo que englobe os outros processos da organização onde os recursos utilizados no contrato analisado estão alocados. Pode-se também aumentar a complexidade da análise e investigar todo o processo produtivo da empresa. Sendo interessante fazer um paralelo entre os cenários obtidos, através da simulação, e sua viabilidade no mundo real, sob diversos aspectos, para a empresa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para análise de Decisões**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 192p.
- AXELROD, R. Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. Special Issue on Agent-Based Modeling. **Japanese Journal for Management Information System**. V.12, n.3, dez. 2003.
- CRUZ, M. M. C. *et al.* Modelo de Simulação para controle das Construções. In: **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2002. Curitiba.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4.ed. – 11.reimpr. São Paulo: Atlas, 2008. 175p.
- HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. As Armadilhas Ocultas na Tomada de Decisão. In: Harvard Business Review. **Tomada de Decisão – Decision Making**. Tradução de Eduardo Riech. Rio de Janeiro: Campus, 2001. p.135-157.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**. 2.ed. Califórnia (USA): Holden-Day, INC, 1968. 639p.
- LISBOA, E. F. A. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, 2002. (Apostila do Curso de Pesquisa Operacional). Disponível em: <www.ericolisboa.eng.br>. Acesso em: 08 jun. 2010.
- LUSTOSA, P. R. B. PONTE, V. M. R. DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. N. (Coord.) **Pesquisa Operacional para Decisão em Contabilidade e Administração – Contabilometria**. São Paulo: Atlas, 2004. p.242-284.
- MENCHIK, C. R. Melhoria de Processo por Simulação. 2006. Disponível em <www.aslog.org.br>. Acesso em: 14 nov. 2009.
- MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. São Paulo (SP), 2006. (Apostila da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos).
- MONTEVECHI, J. A. B.; DUARTE, R.; NILSSON, G.V. O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura. **Revista Pesquisa & Desenvolvimento Engenharia de Produção**. V.1, n.1, p.15-29, dez 2003.
- PARAGON. Software de Simulação Arena. 2008. Disponível em: <www.paragon.com.br>. Acesso em: 07 nov. 2009.
- PENTEADO, F. Simulação Visão de Futuro. **Revista Tecnológica**. Ano XIII V, n.49, p.52-57, abr. 2008.
- PINTO, L. R. **Programação matemática, teoria das filas e simulação**. Ouro Preto (MG), 2002. (Apostila do Curso de Pesquisa Operacional Aplicada à Mineração – Departamento de Engenharia de Minas da UFOP).
- PRADO, D. S. do. **Usando o Arena em Simulação**. 2.ed. Belo Horizonte (MG): INDG Tecs, 2004. 305p.
- SANTOS, M. P. **Introdução à Simulação Discreta**. Rio de Janeiro (RJ), 1999. (Apostila da cadeira de Simulação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Matemática Aplicada – Instituto de Matemática e Estatística).

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores discretos no processo de modelagem de sistemas de operações e serviços. **Revista Pesquisa & Desenvolvimento Engenharia de Produção**. V.16, n.1, p.25-43, jan.-mar. 2009.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3.ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.

SILVA, E. M da *et al.* **Pesquisa Operacional: Programação Linear, Simulação**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184p.

TEIXEIRA, G. **O que Significa Metodologia?** 2005. Disponível em: <www.serprofessoruniversitario.pro.br>. Acesso em: 23 nov. 2009.