

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE OPERAÇÕES EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Antonio Rodrigues da Silva Neto<sup>1</sup>

Eder Reis Tavares<sup>2</sup>

João José de Assis Rangel<sup>3</sup>

Túlio Almeida Peixoto<sup>4</sup>

Ítalo de Oliveira Matias<sup>5</sup>

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho é analisar o tráfego de ordens de serviço em uma operação de um sistema de telecomunicação para identificar possíveis gargalos e necessidades de investimento. Para isto, foi utilizada a simulação computacional por meio do *software* de simulação a eventos discretos livre e de código fonte aberto, Ururau. Este *software* foi comparado ao Arena e foi demonstrado que não há diferença significativa entre eles para uso no problema proposto. Um projeto fatorial  $2^k$  foi elaborado para avaliar diferentes cenários conforme mudanças feitas nas variáveis de interesse. Os resultados apontaram para a necessidade de investimentos na equipe e em recursos em pontos específicos do processo. Assim, o presente estudo apresenta o Ururau como uma alternativa viável e de baixo custo para auxiliar a tomada de decisões nesse tipo de problema.

**Palavras-chave:** Simulação. Operação de Redes. Telecomunicações.

---

<sup>1</sup> Mestre, Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, Universidade Candido Mendes – Campos (UCAM-Campos), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: [arodrisn@gmail.com](mailto:arodrisn@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes – Campos (UCAM-Campos), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: [ederreis@hotmail.com](mailto:ederreis@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes – Campos (UCAM-Campos), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: [joao@ucam-campos.br](mailto:joao@ucam-campos.br)

<sup>4</sup> Doutorando em Planejamento Regional e Gestão da Cidade, Universidade Candido Mendes Campos (UCAM-Campos), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: [tulioap@gmail.com](mailto:tulioap@gmail.com)

<sup>5</sup> Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes – Campos (UCAM-Campos), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: [italo@ucam-campos.br](mailto:italo@ucam-campos.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica vem possibilitando cada vez mais a interação entre as pessoas, máquinas e sistemas. As distâncias praticamente não oferecem mais barreiras para o processo de comunicação, independentemente, do local onde se está hoje é perfeitamente possível a troca de informações sob diversas formas, voz, dados, textos, imagens, vídeos.

Essa troca de informações ocorre de forma quase instantânea por meio de diversos meios: cabos metálicos, fibras ópticas, equipamentos rádio e sistemas satélites. Nas organizações, o desenvolvimento e a mensuração de bens intangíveis que constroem o capital intelectual da empresa têm se tornado uma atividade estratégica para a sua manutenção competitiva. Assim, o valor de uma empresa está além de somente seu patrimônio e seus recursos financeiros, está ainda em seu conhecimento e nas informações geradas e por ela gerenciadas (PEREIRA et al., 2004).

Nesse novo ambiente, empresas de vários setores têm considerado imprescindível realizar significativos investimentos em TI, passando a ter seus produtos, serviços e processos fundamentalmente apoiados nessa tecnologia.

Segundo Lunardi et al. (2010) o motivo que mais afeta o desempenho organizacional é a adoção de TI para atender às necessidades internas da empresa. Segundo estes autores as empresas que investem em TI de forma planejada apresentaram desempenho percebido superior às demais, especialmente quanto à redução dos custos operacionais.

A infraestrutura de telecomunicações congrega o suporte a toda esta tecnologia e requer equipes atentas e dedicadas para mantê-las em perfeito estado de funcionamento. Dentre os diversos tipos de atividades que fazem parte deste tema, este trabalho enfoca em uma equipe de operação de redes de telecomunicações.

Esta equipe atua de forma concentrada em um ponto da rede, gerando ações em campo ou de forma remota, após o recebimento de ordens de serviço por chamadas telefônicas ou por uma ferramenta de *workflow*. Assim, foi utilizada a simulação para estudar e analisar esta operação.

A simulação computacional de modelos possibilita ao analista efetuar estudos sobre os sistemas em investigação, sem que haja qualquer perturbação sobre os mesmos, já que os estudos são efetuados no ambiente do computador. Ou seja, sem nenhuma interferência com o mundo real.

Ela pode ser definida como a experimentação de modelos, onde este imita alguns aspectos importantes do sistema estudado para prever seu comportamento (WHITE;

INGALLS, 2009). Também, permite analisar sistemas de natureza dinâmica e estocástica, além de possibilitar a avaliação de possíveis cenários futuros dos processos (FERNANDES; RANGEL, 2011).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar o tráfego das ordens de serviço em uma operação de um sistema de telecomunicação para identificar possíveis gargalos e necessidades de investimento. Para isto, foi utilizada a simulação computacional por meio do *software* de Simulação a Eventos Discretos (SED) Ururau, descrito em Peixoto et al. (2014).

## **2 SIMULAÇÃO E O SOFTWARE URURAU**

A simulação computacional (FREITAS FILHO, 2008) de sistemas traduz-se pela aplicação de técnicas matemáticas, suportadas pelo emprego de computadores, com a finalidade de imitar o funcionamento de processos, sistemas ou operações do mundo real. Tem sido amplamente aceita e adotada como uma técnica que possibilita a análise antecipada dos processos produtivos dos mais variados seguimentos, facilitando a verificação e o encaminhamento de soluções.

Portanto, a simulação é a imitação de um sistema encontrado no mundo real, modelado de forma computacional para avaliar e possibilitar melhorias no desempenho deste (HARREL et al., 2000). Pode-se afirmar também que simulação é a tradução da realidade para um ambiente sob controle, no qual seu comportamento pode ser estudado sob as mais variadas condições, sem riscos físicos para o mundo real ou o envolvimento de custos elevados (MONTEVECHI et al., 2007).

Buscando competitividade, redução de custos, melhoria na qualidade, maior agilidade e redução de erros humanos, as empresas têm procurado otimizar seus processos de trabalho. A utilização da técnica da simulação computacional viabiliza uma análise mais abrangente, sob diversas óticas e não apenas a da redução de custos (OLIVEIRA et al., 2009).

As aplicações das técnicas de simulação (BANKS et al., 2010) computacional podem abordar apenas os eventos discretos, quando a análise envolve problemas de natureza dinâmica, mas que alteram seus estados em momentos específicos de tempo. Ou podem tratar de eventos contínuos, que alteram seus estados continuamente no tempo.

Dentre as aplicações sobre eventos discretos, podem-se citar como exemplos os sistemas logísticos e cadeias de suprimentos, linhas de produção com processos de manufatura, setor de serviços de atendimentos em geral, entre outros.

Os modelos desenvolvidos normalmente comportam análises visando à tomada de decisão sobre a alocação de algum recurso, tamanho de filas que surgem quando do surgimento de gargalos devido à insuficiência de alguma máquina, operador ou atendente ou ainda o tempo que uma determinada atividade pode consumir nas operações dos diversos processos, entre vários outros.

Law e Kelton (2000) destacam que no passado, a simulação chegou a ser considerada como uma ferramenta de última opção, entretanto, pesquisas de campo comprovaram que sua adoção vem se consagrando cada vez mais. Assim, dadas as vantagens da simulação, foi utilizado para realizar os experimentos deste trabalho o *software* Ururau.

O Ururau é um *software* livre e de código fonte aberto de SED que utiliza como base a biblioteca de simulação JSL (*Java Simulation Library*) proposta por Rossetti (2008). Este, permite a construção de modelos de simulação em interface gráfica (GUI – *Graphic User Interface*) ou mesmo interligar módulos na JSL, camada intermediária do *software*. Para utilizá-lo, basta acessar o link <http://ururau.ucam-campos.br> e efetuar o *download* de forma gratuita.

A Figura 1 apresenta a tela inicial do Ururau. Nela podem ser observados o menu principal, a barra de ferramentas, a área de trabalho, os diversos módulos ou elementos de modelagem, a janela de edição do módulo “*Function*” e a ferramenta de navegação. Construir um modelo de simulação utilizando esta ferramenta é simples, basta apenas clicar nos módulos, arrastá-los até a área de trabalho e configurar os parâmetros de cada módulo clicando sobre os mesmos com o botão direito do mouse e acessando o comando “*Edit*”.

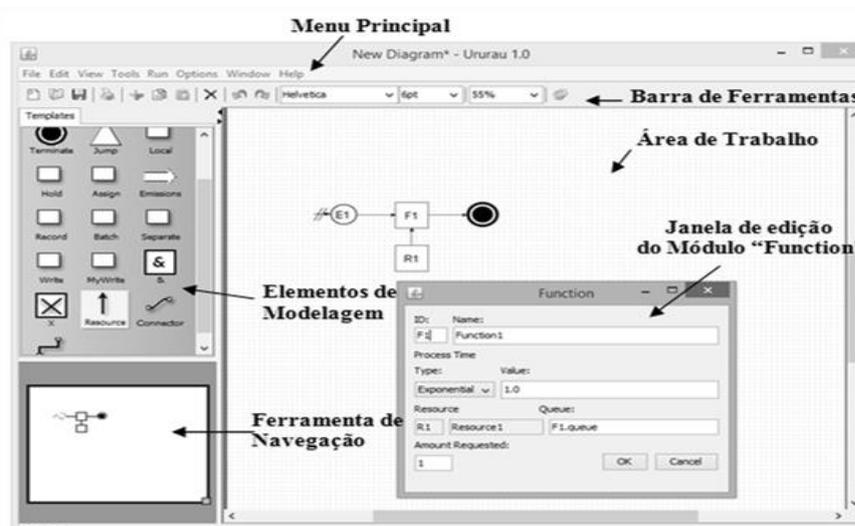


Figura 1 – Tela do Ururau com um exemplo de modelo e a caixa de edição do módulo “*Function*”

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em estudo recente, Dagkakis e Heavey (2015), fizeram um levantamento e analisaram *softwares* livres de SED utilizados para apoio à decisão na área de Pesquisa Operacional. Dentre os *softwares* analisados, os autores citaram o Ururau e ressaltaram alguns de seus fatos positivos.

Como, o fato dos desenvolvedores estarem comparando os resultados obtidos com o *software* Arena. Também, pelo *software* fornecer uma interface gráfica facilitando assim a construção dos modelos. E, ainda, destacando a disponibilidade de vídeos tutoriais em uma página na internet.

### 3 METODOLOGIA

Segundo Banks (2010) e Freitas Filho (2008), um problema que pode ser analisado por meio de modelagem deve ser bem formulado, ou seja, com objetivos e delimitações bem definidos.

A visão de planejamento deve ser iniciada de maneira micro e gradativamente expandida à visão macro. Para isso, um esboço gráfico deve servir de auxílio como, por exemplo, um modelo conceitual. Os dados das etapas devem ser bem fundamentados para que o modelo corresponda, o mais próximo possível, ao sistema real. Por fim, o modelo deve ser construído numa linguagem apropriada para sua simulação.

Para aplicar a metodologia de simulação deve-se obedecer a uma sequência de passos bem definidos, existindo inclusive uma forma clássica de representação. A Figura 2 mostra esta representação.

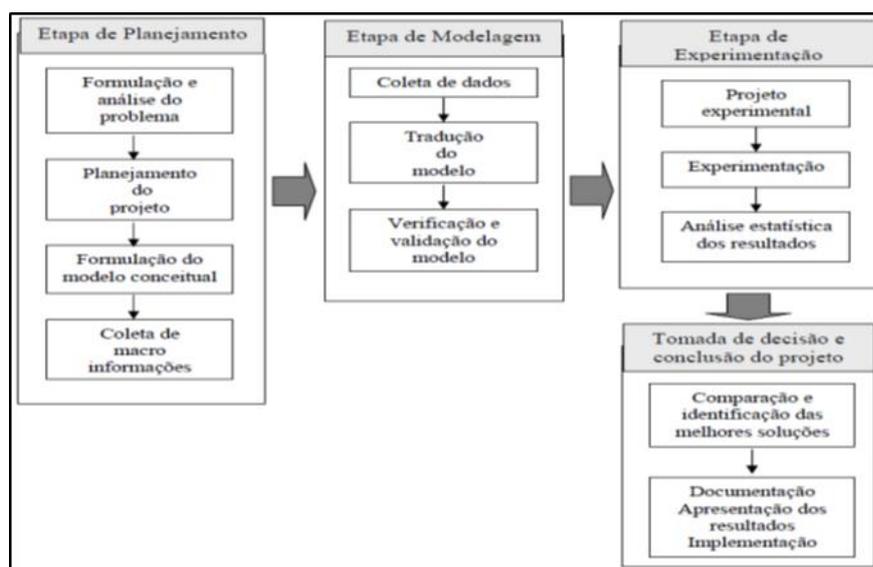


Figura 2 – Passos em estudos envolvendo modelagem e simulação

Fonte: Freitas Filho, 2008.

Foi utilizada para a elaboração dos modelos de simulação a metodologia descrita por Banks et al. (2010). Esta metodologia consiste em formular e analisar o problema, construir o modelo conceitual, construir o modelo de simulação, verificar e validar, elaborar as experimentações e interpretá-las e analisar estatisticamente os resultados. Foram observadas as etapas sugeridas por Sargent (2013) nas etapas de verificação e validação dos modelos de simulação.

#### 4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O objeto de estudo deste trabalho é uma equipe de operação de redes de telecomunicações de uma grande empresa. Até a conclusão deste texto, a autorização formal para divulgação do nome desta ainda não tinha sido emitida, portanto, não será citado. Os dados apresentados combinam valores reais e valores estimados.

A síntese das atividades da equipe de operação de redes de telecomunicações está representada na Figura 3.

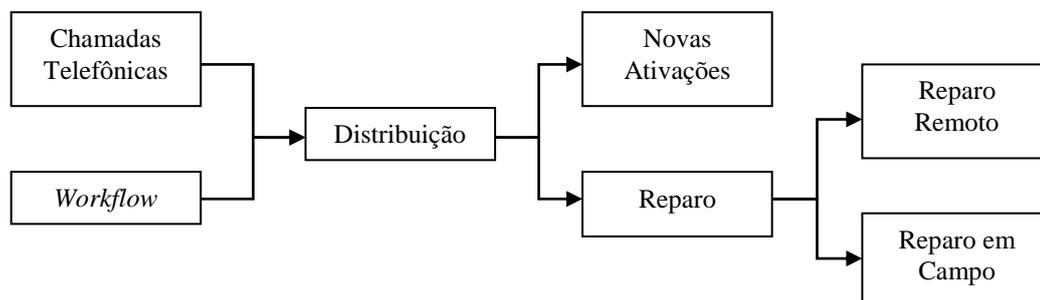


Figura 3 – Síntese das atividades da equipe de operação de redes de telecomunicações  
Fonte: Elaborado pelos autores.

O início das atividades acontece por meio de acionamentos via chamada telefônica ou pelo recebimento de uma ordem de serviço por intermédio de uma ferramenta de workflow, especialmente adquirida para esta finalidade. O volume de chamadas foi estimado em 25% das ordens de serviços.

Os acionamentos chegam a um ponto de distribuição que possui a função de identificar a finalidade e o conteúdo da ordem de serviço e direcioná-la a um dos membros da equipe. Em geral são duas as finalidades dos acionamentos: novas ativações, uma vez que a rede está em constante crescimento, ou reparo, isto é, resolução de problemas. Tipicamente, 80% dos acionamentos são por motivo de reparo.

Os reparos podem ser efetuados de forma remota ou diretamente no local da ocorrência, situação em que mesma deverá acionar as equipes de campo. Normalmente, 70% dos reparos são resolvidos remotamente pela própria equipe de operação de redes de telecomunicações.

Antes de iniciar as tarefas de ativação ou de reparo remoto, o operador da rede deve consultar um Banco de Dados (BD), uma vez que a complexidade do parque instalado o faz lidar com um expressivo conjunto de informações tecnológicas. De posse das orientações, ele executa suas atividades, também apoiado pelo conhecimento tácito. Ao término das atividades é executado um roteiro de testes para garantir a exatidão dos diversos parâmetros a serem verificados.

O volume total das ordens de serviço estimadas nos últimos seis meses pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Volume total das ordens de serviço estimadas de março a agosto de 2013

	Mar/2013	Abr/2013	Mai/2013	Jun/2013	Jul/2013	Ago/2013
O.S.	2179	2761	2669	3223	2770	2570
Chamadas	1090	1381	1335	1612	1385	1285
Totais	3269	4142	4004	4835	4155	3855

Os dados que foram utilizados nos experimentos são os do mês de agosto de 2013, em função de serem os mais recentemente disponíveis. A Tabela 2 apresenta os detalhes das ordens de serviço para o mês de agosto de 2013 e seus percentuais em relação ao total de ordens de serviço.

Tabela 2 – Volume da atividade por item de atividade agosto de 2013

Item	Quantidade	Porcentagem
<i>Workflow</i>	2570	66,7%
Ch. Telefônicas	1285	33,3%
Reparos totais	3084	80%
Novas ativações	771	20%
Reparos remotos	2699	70%
Reparos no campo	1157	30%

Nas duas primeiras linhas, o total de ordens de serviço foi dividido entre as que chegaram pela ferramenta de *workflow* e chamadas telefônicas. As duas linhas seguintes dividem o total das ordens de serviço entre novas ativações e reparos totais. Por fim, as duas últimas linhas dividem o total de reparos em reparo remotos e de campo. Na Figura 4 tem-se a distribuição do trabalho diário realizado para as chamadas telefônicas no mês de agosto/2013.

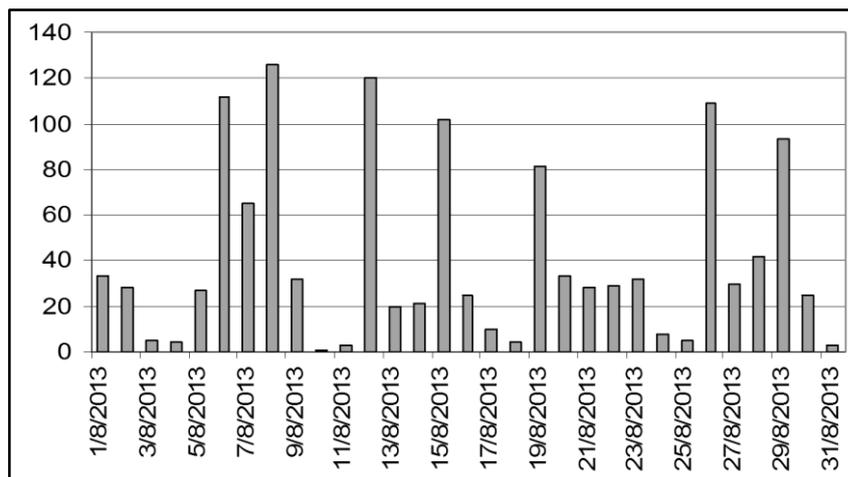


Figura 4 – Volume de trabalho diário

Foi analisado o quantitativo de serviços executados em cada dia do mês de agosto, advindos das chamadas telefônicas e verificou-se que no dia 08 foi o dia em que se exigiu mais da equipe. Os dados deste dia serão utilizados, assumindo-se como valores máximos do esforço da prestação de serviços. Assim, esses dados foram utilizados a fim de se obter um maior realismo nos experimentos.

## 5 MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo conceitual foi desenvolvido em linguagem IDEF-SIM para então se chegar ao modelo de simulação, esta linguagem permitiu uma melhor visualização e compreensão das etapas de produção e suas características (LEAL ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008). A representação do modelo conceitual encontra-se na Figura 5.

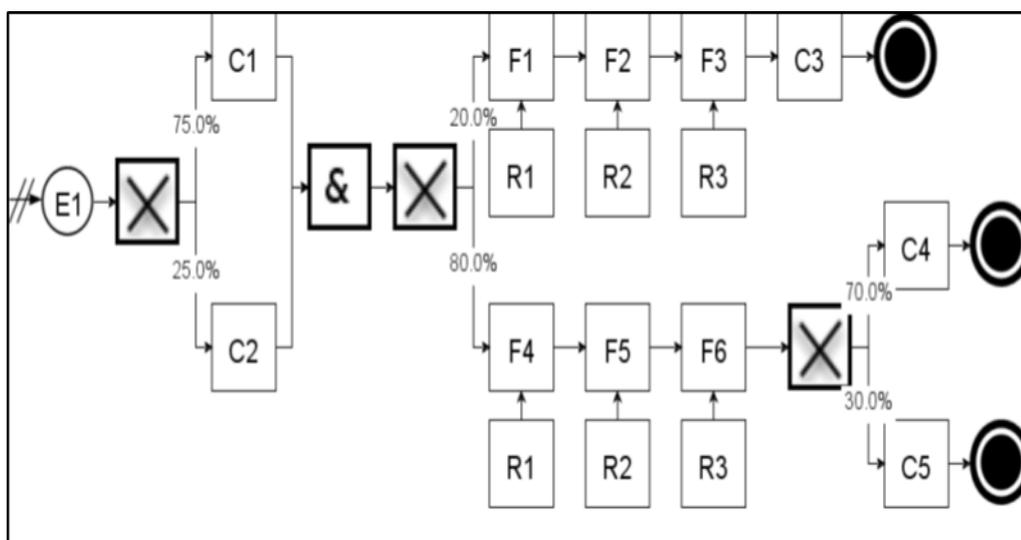


Figura 5 – Modelo conceitual da equipe de operação de redes de telecomunicações

A Tabela 3 mostra a descrição detalhada dos elementos do modelo computacional.

Tabela 3 – Descrição dos elementos do modelo conceitual IDEF-SIM

	<b>Descrição</b>	<b>Parâmetro</b>
<b>E</b>	Entidade: Ordens de Serviços	Função <i>WEIB</i> (7.45, 1.234) min; 1 por vez;
<b>1</b>		máximo infinito; primeira chegada 0s.
<b>F</b>	Processo: Consulta ao BD	Função <i>NORM</i> (5,1) min
<b>1</b>		
<b>F</b>	Processo: Ativação	Função <i>NORM</i> (10,1) min
<b>2</b>		
<b>F</b>	Processo: Testes de Ativação	Função <i>NORM</i> (2,0.1) min
<b>3</b>		
<b>F</b>	Processo: Consulta ao BD	Função <i>NORM</i> (5,1) min
<b>4</b>		
<b>F</b>	Processo: Reparação	Função <i>NORM</i> (5,1) min
<b>5</b>		
<b>F</b>	Processo: Testes de Resolução	Função <i>NORM</i> (2,1) min
<b>6</b>		
<b>R</b>	Recurso: Base de Dados	Quantidade 1
<b>1</b>		
<b>R</b>	Recurso: Equipe Especializada	Quantidade 1
<b>2</b>		
<b>R</b>	Recurso: Roteiro de Testes	Quantidade 1
<b>3</b>		
<b>C</b>	Atribuição: <i>Workflow</i>	Tipo: Variável; Nome: WF; Valor: WF + 1
<b>1</b>		
<b>C</b>	Atribuição: Ligação Telefônica	Tipo: Variável; Nome: LT; Valor: LT + 1
<b>2</b>		
<b>C</b>	Atribuição: Novas Ativações	Tipo: Variável; Nome: NA; Valor: NA + 1
<b>3</b>		
<b>C</b>	Atribuição: Reparos Remotos	Tipo: Variável; Nome: RR; Valor: RR + 1
<b>4</b>		
<b>C</b>	Atribuição: Reparos em Campo	Tipo: Variável; Nome: RC; Valor: RC + 1
<b>5</b>		
<b>X</b>	Decisor: Separar Ordens de Serviço	<i>Type</i> : 2-way-by-chance (75%, 25%)
<b>X</b>	Decisor: Separar Tipo de Serviço	<i>Type</i> : 2-way-by-chance (20%, 80%)
<b>X</b>	Decisor: Separar Tipo de Reparo	<i>Type</i> : 2-way-by-chance (70%, 30%)

Foram utilizados os dados dia 18 de agosto de 2013 para os tempos entre chegadas dos acionamentos, seja por telefone, seja por meio da ferramenta de *workflow*.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A implementação do modelo computacional se deu por meio do *software* Ururau, versão 1.0. Foram utilizados os dados do dia de maior movimento, uma vez que os picos acontecem com relativa frequência mensal. A duração das rodadas de simulação foi de 12 horas, ou 720 minutos, que corresponde ao expediente. Foram efetuadas 50 replicações, objetivando a convergência de valores nos cenários experimentados.

A análise do comportamento da equipe nos momentos de pico se justifica em função das consequências reais de seu mau funcionamento, ou seja, em caso de gargalos, o resultado

direto é o acúmulo de serviços sob a forma de novas ativações ou de resolução de problemas. Na prática o que acontece são clientes aguardando a entrega de novos serviços para os casos de novas ativações, ou clientes com os serviços, ofertados pela rede de telecomunicações, interrompidos.

Desta forma, como estratégia para experimentação dos resultados foi elaborado um projeto fatorial  $2^K$ . Assim, foi possível realizar experimentos sucessivos e avaliar as mudanças de comportamento das variáveis de interesse deste estudo alterando um nível de um fator k de cada vez (FREITAS FILHO, 2008).

Os parâmetros do projeto experimental podem ser vistos na Tabela 4. O nível 1 contém as informações do cenário atual e o nível 2 uma simples alteração proposta para ser avaliada. Para simular a duplicação dos recursos nos processos de consulta ao BD e Reparação, reduziu-se o tempo de processamento desses processos pela metade no nível 2.

Tabela 4 – Fatores e níveis do projeto experimental

Fator	Descrição	Nível 1	Nível 2
A	Tempo do processo de consulta ao BD	$NORM(5,1)$	$(NORM(5,1))*0.5$
B	Tempo do processo de Reparação	$NORM(5,1)$	$(NORM(5,1))*0.5$

O projeto experimental de 2 fatores e 2 níveis apresenta um total de 4, ou  $2^2$ , cenários. Cada um desses cenários é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Cenários propostos para o modelo

Cenários	Quantidade R1	Quantidade R2
1	Nível 1	Nível 1
2	Nível 1	Nível 2
3	Nível 2	Nível 1
4	Nível 2	Nível 2

Os dados obtidos nas simulações sobre a quantidade de ordens de serviço, por ferramenta de *workflow* e por ligações telefônicas, são muito próximos para os quatro cenários. Isso também acontece para a quantidade de novas ativações, de reparos remotos e de reparos em campo. As informações sobre cada um dos parâmetros citados para o cenário 1 podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Variáveis de resposta do Cenário 1

Variáveis	Média	Semi-intervalo
<i>Workflow</i>	78,00	2,074
Ligações Telefônicas	25,50	1,245
Novas Ativações	19,54	1,140

Variáveis	Média	Semi-intervalo
Reparos Remotos	55,44	2,196
Reparos em Campo	23,80	1,331

Para demonstrar o correto funcionamento do Ururau, a Figura 6 apresenta os resultados obtidos no processo de ativação (F2) no cenário 1 neste *software* e obtidos no *software* comercial Arena para efeito de comparação.

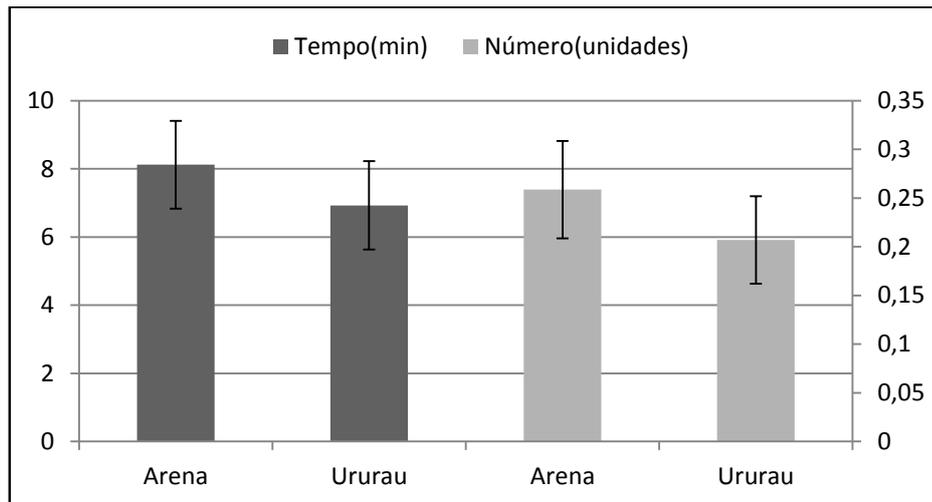


Figura 6 – Comparação dos dados entre Arena e Ururau referentes à fila do processo de ativação

Pode ser observada na Figura a equivalência entre os valores nos dois *softwares*, não havendo diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre eles. Vale ressaltar que o *software* Ururau pode ser utilizado com segurança, ainda que esteja nos primeiros anos.

Como o objetivo deste trabalho é investigar o comportamento da equipe, identificar gargalos e simular ajustes iniciou-se a análise pelo fluxo de reparação, uma vez que se trata do maior percentual de ocorrências, isto é, 70%. Na simulação do cenário 1, que representa o cenário atual, verificou-se a existência de dois principais gargalos, um no processo de consulta à base de dados e outro no processo de reparação.

No processo de consulta ao banco de dados (F4) o tempo médio na fila atingiu 4,324min e a utilização do recurso (R1) atingiu 70,9%. Já no processo de reparação (F5) o tempo médio na fila atingiu 7,740min e a utilização do recurso equipe especializada (R2) chegou a 82,7%.

Por fim o tempo médio na fila e a taxa de utilização do recurso roteiro de testes (R3) para o processo de testes de resolução são, respectivamente, 0,005min e 27,4%. A Tabela 7 apresenta os resultados das simulações dos quatro cenários para a linha de reparação.

A fim de se reduzir o gargalo no processo de consulta à base de dados simulou-se o cenário 2, reduzindo o tempo desse processo pela metade. Houve uma redução significativa da taxa de utilização do recurso R1 que caiu para 42,7% e uma substancial redução no tempo médio da fila para F4, que caiu para 0,824min.

Houve ainda reflexos no processo de reparação, elevando seu tempo médio para 11,947min, assim a taxa de utilização do recurso equipe especializada também aumentou. O processo F6 e o recurso R3 praticamente permaneceram estáveis.

Tabela 7 – Resultados dos Cenários para a linha de Reparação

Cenário	Tempo médio na fila F4(min)	Utilização R1(%)	Tempo médio na fila F5(min)	Utilização R2(%)	Tempo médio na fila F6(min)	Utilização R3(%)
1	4,324	70,9	7,740	82,7	0,005	27,4
2	0,824	42,7	11,947	83,0	0,006	27,4
3	4,387	70,8	1,660	55,6	0,063	27,7
4	0,829	42,8	3,134	55,8	0,133	27,9

No Cenário 3, simulou-se um reforço na equipe especializada para a execução do processo de reparação. Isto foi feito por meio da redução do tempo de execução deste processo em 50%. Como resultado, obteve-se valores mais confortáveis para um dia de pico nessa atividade, com uma substancial redução no tempo médio na fila.

Desta forma, o tempo de clientes aguardando o reparo caiu para 1,660min e a taxa de utilização da equipe especializada também reduziu, para 55,6%, o que sinaliza uma redução de stress no trabalho. As alterações no processo de reparação quase não afetaram os processos vizinhos, assim os processos F4 e F6 e a taxa de utilização dos recursos R4 e R6 tiveram pouca variação.

Por fim, no Cenário 4 foi simulado o dobro da capacidade para os recursos R1 e R2 ao mesmo tempo nos processos F4 e F5. Isto foi feito reduzindo o tempo dos dois processos pela metade. Os resultados apontam que houve uma melhora significativa no fluxo dos dois processos e uma redução na taxa de utilização dos seus recursos.

Por outro lado, o tempo no processo F6 e a taxa de utilização do recurso R6 não sofreram grandes alterações. A seguir foram analisados os dados sobre a linha de ativação nos quatro cenários propostos presentes na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados dos cenários para a linha de ativação

Cenário	Tempo médio na fila F1(min)	Utilização R1(%)	Tempo médio na fila F2(min)	Utilização R2(%)	Tempo médio na fila F3(min)	Utilização R3(%)
1	3,942	70,9	6,927	82,7	0,000	27,4
2	0,810	42,7	8,949	83,0	0,000	27,4
3	4,035	70,8	1,543	55,6	0,000	27,7
4	0,806	42,8	1,837	55,8	0,000	27,9

Pode ser observado que a linha de ativação também foi beneficiada pelas alterações efetuadas na linha de reparo. Isso ocorre especialmente nos processos de consulta ao BD e no processo de ativação, com a redução do tempo médio de fila e também redução da taxa de utilização de seus recursos.

O processo F3 apresentou valores muito baixos para o tempo médio na fila e não se alterou, nos diferentes cenários propostos. Como os recursos das duas linhas são compartilhados, o seu comportamento variou de forma semelhante a cada novo cenário.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um modelo de simulação para o funcionamento de uma equipe de operação de redes de telecomunicações por meio do *software* Ururau. Foram destacadas as principais atividades, procurando utilizar dados reais disponíveis para espelhar o máximo da realidade operacional. Por meio do modelo foi possível verificar as relações entre cada atividade, bem como utilização dos recursos e a formação de filas.

Foi elaborado um projeto fatorial  $2^k$  e diferentes cenários foram experimentados a partir da situação atual por meio de alterações nas variáveis de interesse. Isto permitiu estudar o funcionamento da equipe, identificar a ocorrência de filas e apontar os ajustes necessários para o bom desempenho do processo como um todo, tal como eram os objetivos propostos.

Os resultados da simulação apontaram para o investimento na composição da equipe de operação de redes de telecomunicações em pontos específicos do processo. Assim, o aumento de recursos em processos identificados como gargalos, como no processo de reparação e de consulta ao banco de dados, agiliza o atendimento e reduz o tempo de espera nas filas, evitando reclamações por parte dos clientes.

A análise, com auxílio do *software*, foi efetuada sem causar qualquer perturbação ao ambiente real de trabalho, comprovando a importância da técnica de simulação neste tipo de estudo. Vale ressaltar que não houve necessidade da realização de nenhum investimento

adicional para a obtenção dos resultados, uma vez que o Ururau é um *software* livre e de código fonte aberto. Este trabalho ainda comparou o *software* utilizado com o Arena, *software* comercial, e foi constatado que não há diferença significativa na utilização de um ou de outro para o problema proposto.

Uma vez que não foi possível a coleta de dados reais em todas as etapas na fase de levantamento de dados, sugere-se para trabalhos futuros a investigação por meio de medições *in loco*. Isso proporcionará ainda mais realismo ao comportamento do modelo e permitirá seu uso como subsídio para a tomada de decisão a cerca dos investimentos a serem realizados.

## **MODELING AND SIMULATION FOR OPERATIONS ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS**

**ABSTRACT:** The aim of this work is to analyze the workflow of service orders in an operation of a telecommunication system to Identify possible bottlenecks and the necessity of investments. Thus, computational simulation was applied by means of the free and open source discrete event simulation software called Ururau. This one was compared to the Arena and it was demonstrated that there was no significant difference between them concerning the proposed problem. A  $2^k$  factorial design was elaborated to evaluate different scenarios according to the changes executed in the variables of interest. Results showed the necessity of investments in the team and in resources in specific points of the process. Then, this study presents the Ururau as a viable and a low cost alternative to help the decision making in that kind of situation.

**Keywords:** Simulation. Networks Operation. Telecommunications.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo suporte financeiro para esta pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event system simulation**. 5nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

DAGKAKIS, G. AND HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation software for operations research. **Journal of Simulation advance online publication**, v. 19 June, 2015.

FERNANDES, J.; RANGEL, J. J. A. Modelo de simulação para análise do beneficiamento de blocos de granito: um estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 3, n. 5, p. 153-168, 2011.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2. ed. São Paulo, SP: Editora Visual Books, 2008. 372 p.

HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using Promodel**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A. M.; KELTON, W. D., **Simulation modeling and analysis**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D.A.; MONTEVECHI, J.A.B. **Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de Elementos do IDEF**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XL-SBPO, João Pessoa – Pb, 1-12, 2008.

LUNARDI, G. L.; DOLCI, P. C.; MAÇADA, A. C. G. **Adoção de tecnologia de informação e seu impacto no desempenho organizacional: um estudo realizado com micro e pequenas empresas**. 2010.

MONTEVECHI, J. A. B., PINHO, A. F. DE, LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. **In: Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Washington, DC, USA. 2007.

OLIVEIRA, M. L. M.; MIRANDA, R.C., MONTEVECHI, J. A. B. Desenvolvimento de um projeto de simulação a eventos discretos em uma célula de controle de qualidade de uma empresa de alta tecnologia. **In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XLII-SBPO**, Bento Gonçalves - RS, 2009.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. D. A.; MATIAS, Í. D. O. Free and Open-Source Simulation Software “Ururau”. **In: Winter Simulation Conference**, 2014, Savannah, GA - USA. (WSC - IEEE), p. 4097-4098, 2014.

PEREIRA, M. S.; FIÚSA, J. L. A.; PONTE, V. M. Rodrigues. Capital intelectual e mensuração: um estudo de caso em uma empresa de telecomunicação. **In: Congresso USP de Controladoria e Contabilidade**, 2004.

ROSSETTI, M. D. Java Simulation Library (JSL): An open-source object-oriented library for discrete-event simulation in Java. **The International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 4, n. 1 p. 69-87, 2008.

SARGENT, R. G. Verifications and validation of simulations models. **Journal of Simulation** v. 7, n. 1, p. 12–24, 2013.

WHITE JR, K. P.; INGALLS, R. G. Introduction to simulation. **In:** Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, 2009. 12-23. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

Originais recebidos em: 22/10/2015

Aceito para publicação em: 28/05/2016